

Konditionelle Belastungen und Ergebniskonstanz

**Zur Wirkung spezifischer Beanspruchungen auf Ausführungs- und
Lernleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie der
Philosophischen Fakultäten der Universität des Saarlandes*

vorgelegt von:

Marc-Oliver Dillinger

Saarbrücker Straße 121

66292 Riegelsberg

Saarbrücken, im Juni 2001

Abkürzungsverzeichnis

α	α -Fehler-Niveau
α'	adjustiertes α -Fehler-Niveau
$\bar{\alpha}_0$	Mittlerer Abwurfwinkel
β	β -Fehler-Niveau
ε	Korrekturfaktor nach GREENHOUSE-GEISSER
η^2	Eta-Quadrat
η_p^2	Partielles Eta-Quadrat
\bar{x}	Arithmetisches Mittel, Mittelwert
ARAS	Aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem (<i>engl.</i> ascending reticular activation system)
ATP	Adenosintriphosphat
AZAN	Allgemeines zentralnervöses Aktivierungsniveau
df	Freiheitsgrade (<i>engl.</i> degrees of freedom)
dFVF	Delta-Flimmerverschmelzungsfrequenz
EEG	Elektroencephalogramm
f	Effektgröße
FR	Fahrradbelastung
FVF	Flimmerverschmelzungsfrequenz
GABA	Gamma-Aminobuttersäure (<i>engl.</i> gamma-aminobutteracid)
HE	Haupteffekt
HF	Herzfrequenz
HF _{max}	Maximale Herzfrequenz
HK	Handkurbelbelastung
HT	Hantelbelastung
IA	Interaktionseffekt
K-SZ _(Lilliefors)	Prüfgröße im Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest mit Lilliefors-Modifikation
KG	Kontrollgruppe
KP	Kreatinphosphat
KR	knowledge of results
L	korrigierter p-Wert nach LEVENE
m.	Muskel (<i>lat.</i> musculus)
m/s	Meter pro Sekunde (Einheit der Geschwindigkeit)
min	Minuten
MRF	Mesencephales Retikulärsystem (<i>engl.</i> mesencephalic reticular formation)
msec	Millisekunden
MVC	Maximale Willkürkontraktion (<i>engl.</i> maximum voluntary contraction)
MZP	Messzeitpunkt
NMR	Kernspintomographie (<i>engl.</i> nuclear magnetic resonance)
OB	Ohne Belastung
p	Auftretenswahrscheinlichkeit (<i>engl.</i> probability)

$p_{\text{korr.}}$	korrigierte Auftretenswahrscheinlichkeit
P_{Max}	Maximalleistung im Stufentest (Fahrrad bzw. Handkurbel)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
q	Kopplungskoeffizient
$\text{RMS}_{\text{Aequi}}$	Maß für die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufs von der äquifinalen Bahn (<i>engl.</i> Root Mean Square)
$\text{RMS}_{\text{W/t}}$	Maß für die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe (<i>engl.</i> Root Mean Square)
RZA	Räumlich-zeitliches Auswahlverfahren
s	Streuung
s_{α_0}	Streuung im Abwurfwinkel
s_{t_0}	Streuung im Abwurfzeitpunkt
s_{v_0}	Streuung in der Abwurfgeschwindigkeit
sec	Sekunden
$S_{\text{krit.}}$	Kritischer Wert für Einzelvergleiche
U/min	Umdrehungen pro Minute
\bar{v}_0	Mittlere Abwurfgeschwindigkeit
VG	Versuchsgruppe
$V_p(n)$	Versuchsperson(en)
ZNS	Zentrales Nervensystem

Inhaltsverzeichnis

A	THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND VORLIEGENDE EXPERIMENTELLE BEFUNDE	1
1	EINLEITUNG UND AUFBAU DER ARBEIT	2
1.1	EINLEITUNG	2
1.2	AUFBAU DER ARBEIT	5
2	AUSFÜHRUNGSVARIABILITÄT UND ERGEBNISKONSTANZ	7
2.1	WELCHE ROLLE SPIELEN UNVORHERSEHBARE VERÄNDERUNGEN?	8
2.2	IN WELCHEM VERHÄLTNIS STEHEN „ERGEBNISKONSTANZ“ UND „INTENTIONALITÄT“ ZUEINANDER?	9
2.3	WELCHE ERWARTUNGEN ERGEBEN SICH FÜR DAS VERHALTEN VON TEILSYSTEMEN, WENN DAS GESAMTSYSTEM ERGEBNISKONSTANZ „ANSTREBT“?	9
3	„GUTE“ UND „SCHLECHTE“ VARIABILITÄT: ANPASSUNG UND RAUSCHEN	13
3.1	GLEICHHEIT UND UNGLEICHHEIT	13
3.2	EINE BEGRIFFSABGRENZUNG: VARIABILITÄT UND GENAUIGKEIT	16
3.3	ANPASSUNG UND RAUSCHEN	18
3.3.1	<i>Adaptive Variabilität</i>	20
3.3.2	<i>Rauschbedingte Variabilität</i>	22
4	VARIABILITÄT UND KONSTANZ IM TECHNIKTRAINING UND BEIM MOTORISCHEN LERNEN	34
4.1	TECHNIKTRAINING UND MOTORISCHES LERNEN – GEMEINSAMKEITEN UND UNTERSCHIEDE	34
4.2	VARIABILITÄT UND KONSTANZ IM TECHNIKTRAINING: DESKRIPTIVE BEWEGUNGSBESCHREIBUNGEN UND NORMATIVE HANDLUNGSANLEITUNGEN	36
4.3	VARIABILITÄT UND KONSTANZ BEIM MOTORISCHEN LERNEN	41
5	TECHNIKTRAINING UND MOTORISCHES LERNEN UNTER KONDITIONELLER BELASTUNG	46
5.1	ZUR ZEITLICHEN PLATZIERUNG VON KONDITIONSTRaining UND TECHNIKTRAINING INNERHALB EINER TRAININGSEINHEIT	46
5.2	EXPERIMENTELLE BEFUNDE ZUM EINFLUSS VON ERMÜDUNG AUF DIE MOTORISCHE LEISTUNG UND DAS MOTORISCHE LERNEN	52

5.2.1	<i>Einleitender Überblick.....</i>	52
5.2.2	<i>Ermüdung und motorische Ausführungsleistung.....</i>	54
5.2.3	<i>Ermüdung und motorisches Lernen.....</i>	58
5.2.4	<i>Zusammenfassung.....</i>	62
6	ERMÜDUNG, BELASTUNG UND BEANSPRUCHUNG	63
6.1	KRITIK AM ERMÜDUNGSKONZEPT	63
6.2	DAS BELASTUNGS-BEANSPRUCHUNGS-KONZEPT	64
6.3	BEANSPRUCHUNG UND RESSOURCEN	67
7	EIN MODELL ZUM EINFLUSS KONDITIONELLER BELASTUNGEN AUF DIE BEWEGUNGS AUSFÜHRUNG	70
7.1	DIE CHARAKTERISTIKA SPORTMOTORISCHER LERNAUFGABEN	74
7.2	ANFORDERUNGEN AN NEUROMUSKULÄRE TEILSYSTEME	75
7.3	ANFORDERUNGEN AN ZENTRALNERVÖSE TEILSYSTEME.....	76
7.4	GRAU IST ALLE THEORIE: EIN PRAKTISCHES BEISPIEL.....	77
8	KONDITIONELLE BELASTUNGEN UND RESULTIERENDE BEANSPRUCHUNGEN: WIE BEEINFLUSSEN SIE BEWEGUNGS AUSFÜHRUNG UND BEWEGUNGS LERNEN?.....	78
8.1	ZENTRALNERVÖSE BEANSPRUCHUNGEN	78
8.1.1	<i>Das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (AZAN)</i>	<i>78</i>
8.1.2	<i>Der Einfluss konditioneller Belastungen auf das AZAN</i>	<i>81</i>
8.1.3	<i>Der Zusammenhang von AZAN und motorischer Leistung resp. motorischem Lernen</i>	<i>83</i>
8.2	NEUROMUSKULÄRE BEANSPRUCHUNGEN	84
8.2.1	<i>Der Einfluss konditioneller Belastungen auf neuromuskuläre Teilsysteme</i>	<i>84</i>
8.2.2	<i>Der Zusammenhang von neuromuskulären Beanspruchungen und motorischer Leistung resp. motorischem Lernen.....</i>	<i>88</i>
9	DIE KRITERIUMSAUFGABE: „TREFFERORIENTIERTE WURFBEWEGUNGEN“	90
9.1	DIE ANFORDERUNGEN AN DIE ZU UNTERSUCHENDE BEWEGUNG.....	90
9.2	ZUR BIOMECHANIK DER WURFBEWEGUNG	92
9.2.1	<i>Die kinematische Betrachtungsebene</i>	<i>93</i>
9.2.2	<i>Die dynamische Beschreibungsebene.....</i>	<i>96</i>
9.3	EINE EXEMPLARISCHE TREFFERORIENTIERTE WURFBEWEGUNG: DER „VIRTUELLE“ DARTWURF	97

10	EINE FORMALE ANALYSE AUS DEM ELFENBEINTURM: DREI THEORETISCHE MÖGLICHKEITEN ZUR VERBESSERUNG DER TREFFERLEISTUNG	102
10.1	EINE BEGRIFFSEXPLIKATION: TREFFER-WERTEMENGE UND ABWURF-WERTEMENGE	102
10.2	DIE DREI MÖGLICHKEITEN ZUR STEIGERUNG DER TREFFERLEISTUNG	103
10.2.1	<i>Der Faktor „Stabilität des Abwurfbereichs“</i>	<i>104</i>
10.2.2	<i>Der Faktor „Rauschreduktion“</i>	<i>105</i>
10.2.3	<i>Der Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“</i>	<i>107</i>
11	VOM ELFENBEINTURM ZUM SPORTPLATZ: ZUR PRAKTISCHEN RELEVANZ UND LERNTECHNOLOGISCHEN BEEINFLUSSBARKEIT DER FAKTOREN DER TREFFERLEISTUNG	109
11.1	RAUSCHREDUKTION	110
11.1.1	<i>Zum Zusammenhang von motorischem Rauschen und Konstanzanforderungen der Bewegungsaufgabe</i>	<i>111</i>
11.1.2	<i>Übung und Rauschreduktion</i>	<i>113</i>
11.1.3	<i>Lerntechnologische Beeinflussbarkeit des motorischen Rauschens.....</i>	<i>114</i>
11.2	STABILITÄT.....	117
11.2.1	<i>Zum Zusammenhang von Stabilitätseigenschaften der Aufgabe und der Ergebniskonstanz</i>	<i>119</i>
11.2.2	<i>Übung und Nutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe.....</i>	<i>120</i>
11.2.3	<i>Lerntechnologische Beeinflussbarkeit der Nutzung der aufgabenbezogenen Stabilitätseigenschaften</i>	<i>120</i>
11.3	AUFGABENDIENLICHE KOVARIATION	121
11.3.1	<i>Zum Zusammenhang von Aufgabendienlicher Kovariation und Ergebniskonstanz.....</i>	<i>123</i>
11.3.2	<i>Übung und Nutzung Aufgabendienlicher Kovariation</i>	<i>127</i>
11.3.3	<i>Lerntechnologische Beeinflussbarkeit der Nutzung von Aufgabendienlicher Kovariation.....</i>	<i>128</i>
12	EIN SPEZIFISCHES DREI-FAKTOREN-MODELL FÜR TREFFERORIENTIERTE WURFBEWEGUNGEN	131
13	DER EINFLUSS KONDITIONELLER BELASTUNGEN AUF TREFFERORIENTIERTE WURFBEWEGUNGEN	137
13.1	DIE EFFEKTE NEUROMUSKULÄRER BEANSPRUCHUNGEN BEI TREFFERORIENTIERTEN WURFBEWEGUNGEN.....	137

13.2	DIE EFFEKTE ZENTRALNERVÖSER BEANSPRUCHUNGEN BEI TREFFERORIENTIERTEN WURFBEWEGUNGEN.....	143
14	ZUSAMMENFASSUNG DER THEORETISCHEN ANALYSE UND ABLEITUNG ALLGEMEINER FORSCHUNGSHYPOTHESEN.....	145
14.1	ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DER THEORETISCHEN ANALYSE	145
14.2	EXPERIMENTELLES VORGEHEN UND ABLEITUNG DER FORSCHUNGSHYPOTHESEN	147
B	EXPERIMENTELLER TEIL.....	150
1	ZU DEN ANGEWANDTEN BERECHNUNGSVERFAHREN	151
1.1	ZUR QUANTITATIVEN BESTIMMUNG DER BEITRÄGE DER FAKTOREN „STABILITÄT“, „RAUSCHREDUKTION“ UND „AUFGABENDIENLICHE KOVARIATION“ AN DER VERÄNDERUNG DER TREFFERLEISTUNG	151
1.1.1	<i>Ein Permutationsverfahren zur Bestimmung der Kovariation in multiplen nicht-linearen Zusammenhängen nach MÜLLER</i>	<i>152</i>
1.1.2	<i>Der Beitrag des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“</i>	<i>155</i>
1.1.3	<i>Der Beitrag des Faktors „Rauschreduktion“</i>	<i>156</i>
1.1.4	<i>Der Beitrag des Faktors „Stabilität des Abwurfbereichs“</i>	<i>157</i>
1.1.5	<i>Anmerkungen zu dem Verfahren der Faktoren-Bestimmung.....</i>	<i>157</i>
1.2	SPEZIELLE VERFAHREN DER DATENVERRECHNUNG	158
1.2.1	<i>Messdatenerfassung und Vorverarbeitung der Rohdaten</i>	<i>158</i>
1.2.2	<i>Maß der Trefferleistung.....</i>	<i>159</i>
1.2.3	<i>Ermittlung von Streuungsparametern.....</i>	<i>160</i>
1.2.4	<i>Die Ermittlung der mittleren Bewegungstrajektorie in einer Serie und abgeleitete Größen</i>	<i>161</i>
1.2.5	<i>Der Kopplungskoeffizient q</i>	<i>162</i>
2	ZUR STATISTISCHEN AUSWERTUNG DER DATEN.....	163
2.1	ZUR ANGEWANDTEN INFERENZSTATISTIK	163
2.2	ZUR BESTIMMUNG DER EFFEKTGRÖßE	165
3	HAUPTEXPERIMENT 1: EFFEKTE KONDITIONELLER BELASTUNGEN AUF DIE TREFFERLEISTUNG BEI TREFFERORIENTIERTEN WURFBEWEGUNGEN	168
3.1	METHODE	168
3.1.1	<i>Die motorische Aufgabe.....</i>	<i>168</i>

3.1.2	<i>Die abhängigen Variablen und ihre Operationalisierung</i>	169
3.1.3	<i>Die konditionellen Belastungen</i>	171
3.1.4	<i>Versuchspersonen</i>	174
3.1.5	<i>Untersuchungsablauf</i>	176
3.1.6	<i>Die Zusammenfassung der einzelnen Würfe</i>	177
3.1.7	<i>Versuchsplan</i>	179
3.1.8	<i>Die Erfassung der Flimmerverschmelzungsfrequenz</i>	180
3.2	OPERATIONALE HYPOTHESEN	182
3.2.1	<i>Hypothesen zum allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveau (AZAN)</i>	182
3.2.2	<i>Hypothesen zur Veränderung der Trefferleistung</i>	184
3.3	OPERATIONALISIERUNG UND ERFASSUNG VON VORBELASTUNGEN	188
3.4	ERGEBNISSE	189
3.4.1	<i>Belastungskennwerte</i>	189
3.4.2	<i>Ergebnisse zum AZAN</i>	191
3.4.3	<i>Ergebnisse zur Trefferleistung</i>	198
3.5	GESAMTZUSAMMENFASSUNG DES ERSTEN EXPERIMENTS UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	232
4	HAUPTEXPERIMENT 2: EFFEKTE KONDITIONELLER BELASTUNGEN AUF DIE ANEIGNUNGSLEISTUNG UND DIE LERNLEISTUNG BEI EINER TREFFERORIENTIERTEN WURFBEWEGUNG	233
4.1	METHODE	233
4.1.1	<i>Die motorische Aufgabe</i>	233
4.1.2	<i>Die abhängigen Variablen und ihre Operationalisierung</i>	233
4.1.3	<i>Die konditionellen Belastungen</i>	235
4.1.4	<i>Versuchspersonen</i>	236
4.1.5	<i>Untersuchungsablauf</i>	238
4.1.6	<i>Versuchsplan</i>	241
4.2	OPERATIONALE HYPOTHESEN	243
4.2.1	<i>Hypothesen zum allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveau (AZAN)</i>	243
4.2.2	<i>Hypothesen zur Trefferleistung</i>	245
4.3	OPERATIONALISIERUNG UND ERFASSUNG VON VORBELASTUNGEN	248
4.4	ERGEBNISSE	249
4.4.1	<i>Aneignungsphase und Behaltenstest</i>	249
4.4.2	<i>Belastungstransfer</i>	276

4.5	GESAMTZUSAMMENFASSUNG DES ZWEITEN EXPERIMENTS UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	282
5	GESAMTZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	285
C	LITERATURVERZEICHNIS	287

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur konditioneller Belastungseinflüsse auf das Techniktraining	47
Abbildung 2: Postulierter Zusammenhang zwischen Aneignungsleistung und Ermüdung nach Umgekehrter-U-Hypothese (linke Abbildung) und Umgekehrter-J-Hypothese (rechte Abbildung).	57
Abbildung 3: Vereinfachtes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	66
Abbildung 4: Phänomenorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	66
Abbildung 5: Erweiterung des phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts um die intervenierende Variable „äußere Ressourcen“	68
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Drei-Faktoren-Modells zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung	70
Abbildung 7: Die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“	98
Abbildung 8: Treffer-Wertemenge der Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“	100
Abbildung 9: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge (farbige Kreise) in einem Abwurfbereich mit geringer Stabilität.	103
Abbildung 10: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge in einem Abwurfbereich mit höherer Stabilität.....	105
Abbildung 11: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge mit reduziertem Rauschen in den Ausführungsgrößen	106
Abbildung 12: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge mit Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“	107
Abbildung 13: Winkel-Zeit-Verlauf einer vollständig äquifinalen Bewegungsbahn beim virtuellen Dartwurf	126
Abbildung 14: Drei-Faktoren-Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung und über diese auf das Bewegungsergebnis	132
Abbildung 15: Drei-Faktoren-Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Ausführungsleistungen einzelner Bewegungen, die in ihrer Gesamtheit die Trefferleistung als Konstanzleistung ergeben (B_1 bis B_n sind einzelne Wurfbewegungen).	133
Abbildung 16: Hardware zur Messung der isometrischen Maximalkraft des m. triceps brachii.	172
Abbildung 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungsdauern unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die Belastungszeitpunkte.	190

Abbildung 18: Mittelwerte der Wurfblockdauer unter den vier Belastungsbedingungen OB, FR, HK und HT über die sechs Wurfböcke von WB_{AN} bis WB_{EH}	191
Abbildung 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der absoluten FVF-Werte der Baselinemessungen.	191
Abbildung 20: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau für die vier Stufen des Faktors „Belastungsbedingung“.	192
Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter der Belastungsbedingung OB über die vier FVF-Messzeitpunkte.	193
Abbildung 22: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und FR über die vier FVF-Messzeitpunkte.	194
Abbildung 23: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HK über die vier FVF-Messzeitpunkte.	194
Abbildung 24: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HT über die vier FVF-Messzeitpunkte.	195
Abbildung 25: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die vier FVF-Messzeitpunkte.	195
Abbildung 26: Mittelwerte der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren über die acht Wurfböcke der Aneignungsphase.	198
Abbildung 27: Mittelwerte der serienbezogenen Parameter über die 80 Wurfserien der Aneignungsphase.	200
Abbildung 28: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB von WB_{AN} zu WB_{EH}	203
Abbildung 29: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter der Belastungsbedingung OB über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	205
Abbildung 30: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WB_{AN} zu WB_{EH}	209
Abbildung 31: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und FR über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	211
Abbildung 32: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von WB_{AN} zu WB_{EH}	215
Abbildung 33: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HK über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	217
Abbildung 34: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WB_{EH}	222

Abbildung 35: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HT über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	224
Abbildung 36: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WB_{EH}	228
Abbildung 37: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Bedingungen HK und HT über die Serien nach dem Treatment.	230
Abbildung 38: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungsdauern unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die Belastungszeitpunkte des ersten und zweiten Aneignungstermins.	251
Abbildung 39: Mittelwerte der Wurfblockdauer unter den vier Belastungsbedingungen OB, FR, HK und HT über die elf Wurfblöcke von WB_{AN} bis WB_{A10}	252
Abbildung 40: Mittelwerte und Standardabweichungen der absoluten FVF-Werte über die drei Baselinemessungen.	253
Abbildung 41: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppe OB über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.	254
Abbildung 42: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppen OB und FR über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.	255
Abbildung 43: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppen OB und HK über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.	256
Abbildung 44: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppen OB und HT über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.	256
Abbildung 45: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppe OB von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	260
Abbildung 46: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Gruppe OB von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	262
Abbildung 47: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppen OB und FR von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	265
Abbildung 48: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und FR von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	266
Abbildung 49: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	269
Abbildung 50: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	270
Abbildung 51: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppen OB und HT von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	273

Abbildung 52: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Belastungsgruppen OB und HT von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}	274
Abbildung 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungsdauern der Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT über die Belastungszeitpunkte des Belastungstransfers.	277
Abbildung 54: Mittelwerte und Standardabweichungen der Wurfblockdauer für die beiden Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT über die vier Wurfblöcke WB_{B2} bis WB_{T3}	277
Abbildung 55: Veränderung der Trefferleistung und Beiträge der Faktoren für die Gruppen OB/FR und HK/HT über die Wurfblöcke von WB_{B2} zu WB_{T3}	279
Abbildung 56: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT von Wurfblock WB_{B2} zu WB_{T3}	281

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation der verwendeten Begriffe hinsichtlich ihrer Analyseebene und des herangezogenen Vergleichsparameters.	17
Tabelle 2: Auswirkungen unterschiedlicher Belastungen auf das motorische Gleichgewicht bei verschiedenen motorischen Aufgaben	29
Tabelle 3: Systematik der Begleiterscheinungen zentralnervöser Aktivierungs- und Deaktivierungsvorgänge sowie die dafür indizierten Messverfahren	80
Tabelle 4: Untersuchungen zum Zusammenhang von Rauschreduktion und Ergebniskonstanz bei trefferorientierten Wurfbewegungen.....	111
Tabelle 5: Übersicht über Arbeiten zur Ausnutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe zum Erreichen einer höheren Trefferleistung	119
Tabelle 6: Übersicht über Arbeiten zur Nutzung von Aufgabendienlicher Kovariation bei Wurfbewegungen zum Erreichen einer höheren Trefferleistung	123
Tabelle 7: Zusammenfassende Übersicht über die Befunde zu den drei Faktoren hinsichtlich ihrer Relevanz, ihrer Übungsabhängigkeit und möglicher Interventionsmaßnahmen	130
Tabelle 8: Veränderung charakteristischer kinematischer Parameter unter Belastungswirkung gegenüber unbelasteter Bedingung in der Untersuchung von FORESTIER/NOUGIER (1998)..	140
Tabelle 9: Kategoriengrenzen der Effektstärken für t-Tests und Varianzanalysen (nach BORTZ 1999).	166
Tabelle 10: Übersicht über die sportlichen Aktivitäten der Versuchspersonen aus Experiment 1.	175
Tabelle 11: Leistungsparameter der Versuchspersonen aus Experiment 1.	175
Tabelle 12: Inhaltliche Strukturierung der beiden Aneignungstermine.	176
Tabelle 13: Untersuchungsablauf für die vier Experimentaltermine des ersten Hauptexperimentes für die unterschiedlichen Belastungsbedingungen.	177
Tabelle 14: Design des Versuchsplans für die abhängigen Variablen der Trefferleistung.	180
Tabelle 15: Technische Daten, physikalische Parameter und Verfahrensparameter des FVF-Messsystems RZA.....	181
Tabelle 16: Zeitdauer der einzelnen Belastungen für die verschiedenen Belastungsbedingungen.	189
Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF über die vier FVF-Messzeitpunkte unter den vier Belastungsbedingungen.....	193

Tabelle 18: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren von Block WB_{A1} zu Block WB_{A8} .	199
Tabelle 19: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter von WB_{A1} zu WB_{A8} .	201
Tabelle 20: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB von WB_{AN} zu $WSB_{1/2}$.	202
Tabelle 21: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter der Belastungsbedingung OB für das Ausgangsniveau (gemittelt über die zehn Wurfserien) und die erste Nachbelastungsserie (jeweils gemittelt über die vier Wurfblöcke im Anschluss an ein Belastungstreatment).	202
Tabelle 22: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB über die Wurfserienblöcke nach dem Belastungstreatment.	203
Tabelle 23: Mittelwertsdifferenzen für die Veränderung der Trefferleistung über die Wurfserienblöcke nach dem Treatment.	204
Tabelle 24: Mittelwertsdifferenzen für die Veränderung des Beitrags des Faktors "Aufgabendienliche Kovariation" über die Wurfserienblöcke nach dem Treatment.	204
Tabelle 25: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter der Belastungsbedingung OB über die zehn Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	204
Tabelle 26: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB von WB_{AN} zu WB_{EH} .	206
Tabelle 27: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WB_{AN} zu $WSB_{1/2}$.	207
Tabelle 28: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und FR in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.	208
Tabelle 29: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von $WSB_{1/2}$ zu $WSB_{9/10}$.	209

Tabelle 30: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und FR über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	210
Tabelle 31: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WB_{AN} zu WB_{EH}	212
Tabelle 32: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von Wurfblock WB_{AN} zu Wurfserienblock $WSB_{1/2}$	213
Tabelle 33: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HK in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.	214
Tabelle 34: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von $WSB_{1/2}$ zu $WSB_{9/10}$	214
Tabelle 35: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HK über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	216
Tabelle 36: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von WB_{AN} zu WB_{EH}	218
Tabelle 37: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu $WSB_{1/2}$	220
Tabelle 38: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HT in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.	220
Tabelle 39: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von $WSB_{1/2}$ zu $WSB_{9/10}$	221
Tabelle 40: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HT über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	223

Tabelle 41: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WB_{EH} .	225
Tabelle 42: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen HK und HT zu $WSB_{1/2}$.	226
Tabelle 43: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen HK und HT in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.	227
Tabelle 44: Veränderung der Trefferleistung und Beitrag der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung der Belastungsbedingungen HK und HT vom Wurfserienblock $WSB_{1/2}$ zum Wurfserienblock $WSB_{9/10}$.	227
Tabelle 45: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.	229
Tabelle 46: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen HK und HT von WB_{AN} zu WB_{EH} .	231
Tabelle 47: Übersicht über die sportlichen Aktivitäten der Versuchspersonen aus Experiment 2.	237
Tabelle 48: Leistungsparameter der Versuchspersonen aus Experiment 2.	237
Tabelle 49: Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen hinsichtlich ausgewählter Variablen.	238
Tabelle 50: Untersuchungsablauf des zweiten Hauptexperimentes für die unterschiedlichen Belastungsgruppen.	240
Tabelle 51: Design des Versuchsplans für die abhängigen Variablen der Trefferleistung.	242
Tabelle 52: Zeitdauer der einzelnen Belastungen für die verschiedenen Belastungsgruppen.	250
Tabelle 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF zu den einzelnen FVF-Messzeitpunkten der beiden Aneignungstermine.	253
Tabelle 54: Mittelwerte und Standardabweichungen der Trefferleistung und der Faktoren-Beiträge zu ausgewählten Messzeitpunkten	258
Tabelle 55: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. der Beiträge der Faktoren der Gruppe OB von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{A10} .	259

Tabelle 56: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppe OB zu Wurfblock WB_{A1} und WB_{A10} .	261
Tabelle 57: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. der Veränderung der Faktoren-Beiträge von Wurfblock WB_{A10} zu WB_{B1} .	263
Tabelle 58: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppe OB zu Wurfblock WB_{A10} und WB_{B1} .	263
Tabelle 59: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB und FR von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10} .	264
Tabelle 60: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB und FR von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10} .	264
Tabelle 61: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB und FR zu Wurfblock WB_{B1} .	267
Tabelle 62: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und FR zu Wurfblock WB_{B1} .	267
Tabelle 63: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB und HK über die Würfböcke von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10} .	268
Tabelle 64: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10} .	268
Tabelle 65: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB und HK zu Wurfblock WB_{B1} .	271
Tabelle 66: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und HK zum Wurfblock WB_{B1} .	271
Tabelle 68: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10} .	272
Tabelle 69: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB und HT von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10} .	272
Tabelle 70: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB und HT zu Wurfblock WB_{B1} .	275
Tabelle 71: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und HT zu Wurfblock WB_{B1} .	275
Tabelle 72: Zeitdauer der einzelnen Belastungen für die beiden Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT.	276

Tabelle 73: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB/FR und HK/HT zu Wurfblock WB_{B2}	278
Tabelle 74: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT von Wurfblock WB_{B2} zu WB_T	278
Tabelle 75: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT von Wurfblock WB_{B2} zu WB_T	280

A

**Theoretische Grundlagen und vorliegende
experimentelle Befunde**

1 Einleitung und Aufbau der Arbeit

1.1 Einleitung

“One day in 1908 William ‘Bigfoot’ Annakin, a Leeds publican, stood before Leeds Magistrates’ Court to answer a charge of allowing a game of chance, namely darts, to be played in his establishment. Annakin duly turned up at Court clutching a Yorkshire Board and needing little encouragement from the officials, set about proving that darts was in fact a game of skill.

He did this by first landing three darts in the single 20 segment. The Magistrate then asked the Clerk of the Court to throw three darts, only one of which actually hit and stayed in the dartboard. Annakin then strode up and thudded three darts out of three into double top. The Magistrate was duly impressed and announced without further evidence that “This is no game of chance. Case dismissed!”

(CHAPLIN 2000)

Die Anekdote von „Bigfoot“ Annakin, in deren Mittelpunkt eine juristische Entscheidung darüber getroffen werden soll, ob Dart ein Glücksspiel oder ein Geschicklichkeitsspiel sei, zeigt in eindrucksvoller Weise, dass durch Übung die konstante Reproduktion eines gewünschten Zielzustandes verbessert werden kann. Dart, als eine spezifische Wurfbewegung, ist somit als Geschicklichkeitsspiel zu klassifizieren, dessen Ergebnis wesentlich durch die Geschicklichkeit des Spielers verbessert werden kann. Mit sportwissenschaftlichen Begriffen ausgedrückt, heißt dies, dass der Spieler sich eine adäquate Bewegungstechnik angeeignet hat, um das antizipierte Bewegungsziel zu erreichen.

Viele weitere sportliche Bewegungshandlungen erfordern, wie beim angeführten Beispiel des Dartspiels, die konstante Reproduktion eines erwünschten Zielzustandes; so z.B. beim Basketballspiel, dessen Zielstellung darin besteht, im Rahmen mehrerer Korbwürfe eine möglichst hohe Trefferquote zu erzielen (NBA-Spieler erreichen dabei im Mittel Trefferquoten von ca. 72%, vgl. STEINHÖFER/GERLACH/REMMERT 1997) oder beim Weitsprung, bei dem das möglichst exakte Treffen des Absprungbalkens gefordert ist. Zunächst ist dabei wichtig, dass der erwünschte Zielzustand genau produziert wird. Im Rahmen wiederholter Ausführungsversuche ist es dann weitergehend erwünscht, den genauen Zielzustand auch möglichst konstant zu reproduzieren und dies trotz der Tatsache, dass es unmöglich ist,

zweimal eine vollständig identische Bewegung durchzuführen, wie bereits BERNSTEIN (1975) feststellte.

Empirische Befunde zeigen nun tatsächlich, dass die Bewegungsausführung variabler ist als das Bewegungsergebnis (vgl. LOOSCH 1995; MÜLLER 2000 für Wurfbewegungen), d.h. ein konstantes Bewegungsergebnis ist nicht zwingend an eine konstante Bewegungsausführung gebunden. Eine veränderte Bewegungsausführung ist dabei zunächst für den Fall plausibel, dass ein Tennisspieler einmal einen „Lop“ über seinen am Netz stehenden Gegner spielt, ein anderes mal, selbst am Netz stehend, seinen an der Grundlinie stehenden Gegner mit einem „Stop“ auskontert. Das Bewegungsergebnis bleibt gleich: Es wird ein Punkt erzielt. Die festzustellende Variabilität in der Bewegungsausführung aber lässt sich leicht als Anpassung an die veränderten Ausführungsbedingungen verstehen. Unter bestimmten Bedingungen, wenn sich das angestrebte Bewegungsergebnis nicht verändert und die Ausführungsbedingungen gleich bleiben, ist jedoch nicht nachzuvollziehen, warum dennoch Variabilität in der Bewegungsausführung festzustellen ist. In der Tat scheint sie auch vom Ausführenden unter diesen Umständen nicht kontrollierbar zu sein. Diese Variabilität ist auf Rauschen im motorischen System zurückzuführen. Das Rauschen wird dabei als natürliche Eigenschaft biologischer Systeme angesehen (vgl. NEWELL/CORCOS 1993a, 1). Vor dem Hintergrund vorhandenen Rauschens im motorischen System identifiziert MÜLLER (2000) drei Faktoren, über deren veränderte Nutzung im Rahmen eines Übungsprozesses sich die Konstanzleistung bei einer mehrfachen Ausführung einer Bewegungsaufgabe dennoch steigern lässt. Speziell für Wurfbewegungen sind dies die „Stabilität des Abwurfbereichs“, die „Rauschreduktion“ und die „Aufgabendienliche Kovariation“, welche die Veränderung der Trefferleistung von einer Wurfserie zu einer weiteren vollständig beschreiben. Im Rahmen eines motorischen Lernprozesses zeigt sich, dass diese Faktoren auch alle zur Verbesserung der Trefferleistung von den Übenden genutzt werden. Speziell über den Faktor „Rauschreduktion“ sind dabei sogar nach hohen Übungsraten noch Leistungsgewinne zu erzielen.

Da die meisten sportlichen Bewegungen im Zustand mehr oder weniger hoher konditioneller Belastungseffekte zu absolvieren sind, ist die Frage, wie solche Belastungswirkungen die Bewegungsausführung und das Bewegungsergebnis beeinflussen, von nicht zu vernachlässigender Bedeutung. Ein eindrucksvolles Beispiel bietet hier der 400-m-Hürdenläufer, der im Zustand hoher Beanspruchungen des neuromuskulären Systems noch eine adäquate Hürdentechnik an der letzten Hürde realisieren muss, um deren Überquerung sicherzustellen. Aber auch der Basketballspieler, der im Verlaufe des Spieles einer Vielzahl konditioneller Belastungen ausgesetzt ist (z.B. pro Minute eine Laufleistung von 90m mit elfmaligem

Tempowechsel und dreimaliger Maximalbeschleunigung, drei submaximale und maximale Sprünge, drei Ballannahmen, zwei Pässe, 0,8 Dribblings bei durchschnittlich dreimaligem Auftippen und 0,4 Würfeln; vgl. MÜLLER/STEINHÖFER 1982), muss am Ende eines Spieles den Korb noch möglichst konstant treffen. Solche konditionellen Belastungen rufen jedoch nach verbreiteter Auffassung Ermüdung hervor, die zumeist leistungsnegative Effekte nach sich ziehe. Wie OLIVIER (1996a) aber eindrucksvoll aufzeigen konnte, weist der Ermüdungsbegriff, der ein einseitiges Verständnis negativer Folgen konditioneller Belastungen nahe legt, Definitions- und daraus folgend Operationalisierungsprobleme auf. Mit der kreativen Transformation des arbeitswissenschaftlichen Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts in die Sportwissenschaft, welches die Wirkungen von Belastungen über individuell entgegensetzende Ressourcen als resultierende Beanspruchungen unterschiedlicher organismischer Teilsysteme detailliert beschreibt, können die Wirkungen konditioneller Belastungen auf die motorische Ausführungs-, aber auch auf die motorische Lernleistung differenzierter beschrieben werden. Dabei wird zugleich ein einseitiges Verständnis leistungsnegativer Folgen konditioneller Belastungen vermieden. Das auf dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept basierende Drei-Faktoren-Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung (OLIVIER 1997) unterscheidet dabei zentralnervöse und neuromuskuläre Beanspruchungen infolge konditioneller Belastungen, die je nach Anforderung der motorischen Aufgabe an zentralnervöse und neuromuskuläre Teilsysteme entsprechende Effekte auf die Bewegungsausführung nach sich ziehen. Diese müssen sich jedoch nicht zwingend im Bewegungsergebnis niederschlagen. Die erste Frage, die diese Arbeit zu beantworten versucht, lautet damit:

- *Wie wirken sich neuromuskuläre und zentralnervöse Beanspruchungen auf die Bewegungsausführung und das Bewegungsergebnis bei trefferorientierten Wurfbewegungen aus?*

Auch für das sportliche Techniktraining, das gerade auf motorische Lernprozesse abstellt, ist die Frage, wie spezifische konditionelle Belastungen die Aneignungs- und die Lernleistung beeinflussen, von grundlegender Bedeutung. Die bisherigen Aussagen der trainingswissenschaftlichen Literatur zum Zusammenhang von konditionellen Belastungen und Techniktraining postulieren, dass infolge konditioneller Belastungen Ermüdungszustände auftreten, die einen negativen Effekt auf das intendierte motorische Lernen hätten (vgl. im Überblick DILLINGER 1997). Es wurde jedoch oben bereits erwähnt, dass die Wirkungen konditioneller Belastungen differenzierter betrachtet werden müssen. Vorliegende aktuelle labor- (vgl. OLIVIER 1996a) bzw. feldexperimentelle Befunde (vgl. DILLINGER 1997) zum Drei-

Faktoren-Modell, aber auch ältere Befunde aus der angloamerikanischen psychologischen Motorikforschung, zeigen, dass trotz verminderter Aneignungsleistung infolge neuromuskulärer Beanspruchungen die Lernleistung nicht beeinträchtigt ist. Diese Ergebnisse legen damit nahe, dass das periphere Geschehen (die neuromuskulären Beanspruchungen) vom zentralen Geschehen (den lernrelevanten Informationsverarbeitungsprozessen) unabhängig ist. Die zweite grundlegende Frage, die diese Arbeit beantworten will, lautet:

- *Wie wirken sich neuromuskuläre und zentralnervöse Beanspruchungen während der Aneignungsphase einer trefferorientierten Wurfbewegung unmittelbar auf die Aneignungsleistung und überdauernd auf die Lernleistung aus?*

1.2 Aufbau der Arbeit

Zunächst einmal wird in Kapitel A2 dargelegt, dass sich Variabilität im motorischen Verhalten auf unterschiedlichen Ebenen zeigt, zugleich aber auch Teilsysteme des menschlichen Bewegungssystems eigenständig darauf abstellen, Ergebniskonstanz herzustellen. Kapitel A3 charakterisiert zwei Variabilitätsanteile: Die „gute“ Variabilität, als antizipative Anpassung an oder reaktive Kompensation von Veränderungen der Ausführungsbedingungen, und die „schlechte“ Variabilität, das Rauschen. Da zum Aspekt der Anpassung bereits zahlreiche Befunde vorliegen, wird sich die Darstellung an dieser Stelle schwerpunktmäßig mit dem Rauschanteil beschäftigen. In eigenen Kapiteln (vgl. Kapitel A3.3.2.1 bis A3.3.2.3) wird aufgezeigt, dass Rauschen sowohl in zeitlichen, als auch in dynamischen und kinematischen Merkmalen der Bewegung vorhanden ist. Die Bedeutung der Variabilität sowohl der Ausführungsbedingungen als auch der Bewegungsausführung im Techniktraining und beim motorischen Lernen wird in Kapitel A4 ausführlich erläutert. Dabei wird versucht, vorhandene Aussagen der einschlägigen Literatur zum Aspekt der Variabilität als den Anpassungs- bzw. den Rauschanteil betreffend einzuordnen. Kapitel A5 legt zunächst dar, wie Konditions- und Techniktraining in einer Trainingseinheit laut „Lehrbuchmeinung“ zu platzieren sind (Kapitel A5.1), bevor experimentelle Befunde zum Einfluss von Ermüdung auf die motorische Ausführungsleistung und die motorische Lernleistung vorgestellt und kritisch hinterfragt werden (Kapitel A5.2). Aufgrund dieser Analyse wird in Kapitel A6 zunächst der „Ermüdungs“-Begriff zur Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung als ungeeignet kritisiert (Kapitel A6.1), bevor im Anschluss aufgezeigt wird, dass das genuin arbeitswissenschaftliche Belastungs-Beanspruchungs-Konzept einen geeigneteren Zugang zur Beantwortung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsfrage bietet (Kapitel A6.2). Basierend auf dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept folgt die Darstellung eines Modells, das den Einfluss konditioneller

Belastungen auf die Bewegungsausführung über analytisch getrennte zentralnervöse und neuromuskuläre Beanspruchungen beschreibt (Kapitel A7). Vor dem Hintergrund dieses Modells soll sodann aufgezeigt werden, wie sich konditionelle Belastungen in Beanspruchungen zentralnervöser und neuromuskulärer Teilsysteme äußern, und wie sich diese Beanspruchungen dann auf die Bewegungsausführung bzw. das Bewegungsergebnis auswirken (Kapitel A8). Kapitel A9 widmet sich der Kriteriumsaufgabenklasse „Trefferorientierte Wurfbewegungen“, zeigt ihre prinzipielle Eignung zur Beantwortung der Forschungsfrage dieser Arbeit (Kapitel A9.1) und beschreibt die Biomechanik der Wurfbewegung auf kinematischer und dynamischer Ebene (A9.2). Anschließend wird mit dem „virtuellen Dartwurf“ eine spezifische trefferorientierte Wurfbewegung vorgestellt, die zur Bearbeitung der Forschungsfrage herangezogen wird (Kapitel A9.3). Gegenstand von Kapitel A10 ist die Beantwortung der Frage, über die Nutzung welcher Faktoren die Trefferleistung von einer Wurfserie zu einer weiteren gesteigert werden kann. Ob diese theoretischen Möglichkeiten der Leistungssteigerung praktisch auch tatsächlich genutzt werden und lerntechnologisch beeinflussbar sind, soll anhand empirischer Befunde in Kapitel A11 geklärt werden. In Kapitel A12 wird eine modifizierte Fassung des Modells zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung, speziell für trefferorientierte Wurfbewegungen, präsentiert. Darauf basierend sollen in Kapitel A13 Befunde vorgestellt werden, die sich mit dem Einfluss konditioneller Belastungen auf die Trefferleistung bei Wurfbewegungen befassen. Der theoretische Teil endet mit einer Zusammenfassung und der Ableitung der allgemeinen Forschungshypothesen (Kapitel A14).

Im experimentellen Teil (Teil B) werden zunächst spezifische Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Beiträge der Faktoren der Trefferleistung sowie weiterer ausführungsbezogener Parameter erläutert (Kapitel B1). Anschließend werden die in beiden Experimenten angewandten statistischen Verfahren beschrieben (Kapitel B2). Es folgen die beiden Experimente zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen (Kapitel B3) und zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Aneignungsleistung und die Lernleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen (Kapitel B4). Den Abschluss der Arbeit bilden die Gesamtzusammenfassung und ein kurzer Ausblick.

2 Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz

Variabilität im motorischen Verhalten ist eine bedeutende Thematik für alle Theorien der motorischen Kontrolle, wie NEWELL/CORCOS (1993a) betonen. Daher ist es wenig verwunderlich, dass zu diesem Themenbereich eine Reihe von Arbeiten vorliegen; z.B. zur Variabilität

- dynamischer Parameter (vgl. z.B. CARLTON/NEWELL 1988; CARLTON/NEWELL 1993; NEWELL/CARLTON 1985; NEWELL/CARLTON 1988; NEWELL/CARLTON/HANCOCK 1984; SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN 1979; SHERWOOD/SCHMIDT 1980),
- kinematischer Parameter (vgl. z.B. CARLTON/NEWELL 1988; GUAY/SALMONI/LAJOIE 1999; SCHMIDT/SHERWOOD 1982; SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN 1979; SHERWOOD/SCHMIDT 1980) und
- zeitlicher Parameter (vgl. z.B. CARLTON/NEWELL 1988; HORE/WATTS/MARTIN/MILLER 1995; NEWELL/CARLTON/CARLTON 1982; NEWELL/HOSHIZAKI/CARLTON 1979; SHERWOOD 1986; SHERWOOD/SCHMIDT 1980; TIMMANN/WATTS/HORE 1999).

Vorliegende ältere Untersuchungen zeigen, dass das Interesse an dieser Thematik keineswegs neu ist. Bereits Ende des vorletzten Jahrhunderts beschäftigte sich WOODWORTH (1899) mit der Genauigkeit willkürlicher Bewegungen, zu Beginn des letzten Jahrhunderts untersuchte HOLLINGWORTH (1909) die Ungenauigkeit von Bewegungen, WEINLAND (1927) die Variabilität von Bewegungen bei wiederholter Durchführung einer Bewegungsaufgabe und MANZER (1934) den Einfluss von Ermüdung auf die Variabilität von Bewegungen. Der Stand der Auseinandersetzung zu dieser Thematik wurde von (NEWELL/CORCOS 1993a) im Tagungsband der 1991 stattgefundenen Konferenz zum Thema „Variabilität und motorische Kontrolle“ zusammengefasst. Der Vielfältigkeit der theoretischen Ansätze in diesem Themenbereich stehen die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Interpretationen entgegen, die teilweise zu entgegengesetzten Aussagen führen. MÜLLER (2000, 11) bemerkt, einerseits werde die Ansicht geäußert, dass eine hohe Konstanz im Bewegungsergebnis durch eine hohe Variabilität in der Bewegungsausführung verhindert wird, während andererseits behauptet wird, dass eine hohe Konstanz im Bewegungsergebnis durch die Variabilität in der Bewegungsausführung erst ermöglicht wird. Diese uneinheitliche Befundlage ist MÜLLER (ebd.) zufolge nicht auf eine unterschiedliche Datenbasis zurückzuführen, sondern vielmehr durch die „babylonische“ Sprachverwirrung verursacht (vgl. auch NEWELL/VAN EMMERIK/SPRAGUE 1993), d.h. dass gleiche Begriffe mit unterschiedlichen Begriffsintensionen und Begriffsextensionen gebraucht werden.

Eine Begriffsklärung ist daher zwingend erforderlich. Aus diesem Grund schlägt MÜLLER (2000, 13) vor, eine „theorie-neutrale“ Begrifflichkeit zu entwickeln. Dies wird erreicht, indem die Abgrenzung der Begriffsintensionen ausschließlich auf das zu analysierende Problem bezogen diskutiert und entsprechend festgelegt wird (vgl. ebd.). Die gewünschte Neutralität vollständig zu erreichen, ist zwar nicht möglich, jedoch sollte man mit einem Minimum an möglichst neutralen Vorannahmen, bezogen auf die konkurrierenden Ansätze (z.B. kategorisiert nach theoretischen Annahmen: motor- vs. action-approach; kategorisiert nach dem experimentellen Paradigma: speed-accuracy trade-off vs. force-variability), auskommen (vgl. MÜLLER 2000, 13). In diesem Zusammenhang nennt MÜLLER (2000) drei Grundannahmen, die von keinem der relevanten Ansätze prinzipiell in Frage gestellt werden (vgl. ebd., 13f.):

- Sich bewegende biologische Systeme existieren.
- Es existiert eine Welt, die sich aus Elementen zusammensetzt.
- Die Zustände dieser Elemente sind veränderlich.

Aus diesen wenigen Grundannahmen ergeben sich Folgerungen, wobei er deren Betrachtung auf vier Fragen zuschneidet, die für die Auseinandersetzung mit dem Forschungsgegenstand bedeutsam sind. In den Kapiteln A2.1 bis A2.3 sollen diese Fragen aufgeworfen und die zugehörigen Antworten in Kernaussagen zusammengefasst werden. Dabei verzichte ich auf eine abstrakte und formale Argumentation. Diese findet der interessierte Leser ausführlich bei MÜLLER (2000). Da die folgenden Feststellungen und die darauf aufbauenden Gedankengänge MÜLLERS meiner Ansicht nach grundlegend für das Verständnis der Fragestellung sind, möchte ich diese so kurz wie möglich, aber so ausführlich wie nötig, wiedergeben. Um nicht den Anschein zu erwecken, man schmücke sich mit fremden Federn, wird der Leser um Nachsicht gebeten, dass in einigen der direkt anschließenden Kapiteln der Name MÜLLER sozusagen ständiger Begleiter ist.

2.1 Welche Rolle spielen unvorhersehbare Veränderungen?

Zunächst ist die Differenz zwischen dem tatsächlichen zukünftigen Zustand der Welt und dem durch das Individuum vorhergesagten Zustand der Welt *nicht nur unvorhergesehen*, sondern bzgl. bestimmter Aspekte *zwingend unvorhersehbar* (vgl. MÜLLER 2000, 15). Unvorhergesehene Einflüsse scheinen aus Sicht des Individuums durch „Zufallsfaktoren“ beeinflusst. Bei der Betrachtung dieser unvorhergesehenen Einflüsse über vergleichbare Situationen hinweg, spricht man von zufälligen Fluktuationen, die als Rauschen bezeichnet werden (vgl. NEWELL/CORCOS 1993a, 4). Diese beiden Aspekte führen MÜLLER (2000, 15) zu der

Feststellung, dass Rauschen zwingend vorhanden ist, sowohl bezogen auf Umweltveränderungen, als auch auf Veränderungen des Individuums (insbesondere seiner Bewegungen).

Zwei wesentliche Folgerungen aus dieser Feststellung sind, dass zum Einen die Notwendigkeit entfällt, die Existenz von Rauschen anderweitig zu begründen, und zum Anderen, nach dem Sinn des Rauschens zu fragen.

2.2 In welchem Verhältnis stehen „Ergebniskonstanz“ und „Intentionalität“ zueinander?

Aus der Grundannahme der „Existenz“ der betrachteten Systeme leitet MÜLLER (2000, 15) als einziges „Bestreben“ des betrachteten Systems jenes ab, seine Existenz in der sich verändernden Welt zu erhalten, wozu Zustände „eingenommen“ werden müssen, die für den Fortbestand günstig sind. Eine geeignete Beschreibung dieses Sachverhalts ist folgende: „Das System ‚verhält‘ sich so, als ob es die gewünschten Zustände aktiv anstrebt“ (ebd., 16). Eine Zurückdrängung unvorhergesehener Einflüsse erfolgt dabei über antizipative bzw. reaktiv-kompensatorische Veränderungen des Bewegungsapparats. Mit der Unterstellung von Intentionalität besteht jedoch die Gefahr, dass die Zielstellung, ein theorie-neutrales Begriffsinventar zu entwickeln, nicht erreicht wird. Da MÜLLER (2000) jedoch zeigen kann, dass ein auf Intentionalität abstellender Sprachgebrauch zur Beschreibung des Sachverhalts geeigneter ist, lassen sich Vorbehalte bzgl. dieses Begriffes, die aus dem „motor-approach“ (vgl. MEIJER/ROTH 1988) kommen, dadurch umgehen, dass man an gegebener Stelle die beiden Worte „als ob“ ergänzt.

Die Fähigkeit, konstant gewünschte Situationen herstellen zu können, sieht MÜLLER (2000, 16) als ein wesentliches Charakteristikum biologischer Systeme an.

2.3 Welche Erwartungen ergeben sich für das Verhalten von Teilsystemen, wenn das Gesamtsystem Ergebniskonstanz „anstrebt“?

Die Bemerkung von NEWELL/CORCOS (1993a), dass sich Variabilität auf allen Analyseebenen zeigt, sollte somit auch für alle Teilelemente und -strukturen eines biologischen Systems gelten. Da alle Teilsysteme an der Leistung, somit auch der Konstanzleistung des Gesamtsystems beteiligt sind, stellt sich für MÜLLER (2000, 17) die Frage, wie der Beitrag der Teilsysteme

aussieht. Dabei sind zwei Möglichkeiten denkbar: a) Der Beitrag eines Teilsystems besteht darin, die ihm zukommende Funktion möglichst getreu der ihm zur Verfügung stehenden Eingangsdaten umzusetzen, b) Das Teilsystem strebt eigenständig bestimmte diskrete Zielzustände an. Aufgrund eigener Überlegungen von MÜLLER (2000) wird die letzte Variante als die günstigste angesehen.

MÜLLER (2000, 17ff.) führt einige Beispiele an, die zeigen, dass Struktur und Funktion von Teilsystemen des menschlichen Bewegungssystems darauf abgestellt sind, trotz unvorhergesehener Einflüsse eigenständig Ergebniskonstanz herzustellen:

- *Das Aktionspotential im Nerv* zeigt eine klassenbezogene Abbildung bei der Reizfortleitung:
Die eingehende Information (Höhe der Erregung) wird nach dem „Alles-oder-Nichts-Prinzip“ (vgl. z.B. DUDEL 1996) in der Reiz-Fortleitung auf die beiden Klassen „depolarisiert“ oder „hyperpolarisiert“ abgebildet. Die Übertragung ist damit unabhängig von Fluktuationen in solchen Faktoren, die die physiologischen Vorgänge der Reizleitung beeinflussen.
- *Muskelkraftstöße* zeigen trotz stochastischer Rekrutierung eine konstante Form:
Dem „Parallel Force Unit“-Modell (vgl. ULRICH/WING 1993) folgend, sind der Kraftverlauf, den ein Muskel bei der Kraftbildung produziert, und auch dessen Konstanz, nicht zentral gesteuert, sondern Ergebnis stochastischer peripherer Prozesse.
- *Gelenkposition*: Konstante Endposition trotz externer Störungen:
Gemäß dem mass-spring-Modell (vgl. FELDMAN 1966a; 1966b), welches Flexoren und Extensoren an einem Gelenk als Federn modelliert, die dem System einen bestimmten Äquilibriumspunkt verleihen, erreicht ein solches System trotz temporärer Störungen und aus beliebigen Ausgangsstellungen heraus diesen Äquilibriumspunkt. Da mass-spring-Systeme zentrale Vorgaben trotz unvorhersehbarer Fluktuationen ohne weitere zentrale Kontrolle konstant umsetzen, sind sie ein Beispiel für periphere Teilsysteme des Bewegungsapparats, die konstanzsichernde Funktionen übernehmen können.
- Konstanzsichernde *spinale Verschaltungen*:
Konnte ein mass-spring-System externe Störungen kompensieren, so soll nun gezeigt werden, wie Fluktuationen innerhalb des Bewegungssystems kompensiert werden können. Das FLETE-Modell (vgl. BULLOCK/CONTRERAS-VIDAL 1993) zeigt,

wie zentrale Muskelkommandos durch die zugrunde liegende spinale Verschaltung störungsfrei umgesetzt werden. Renshaw-Zellen zeigen in ihrer Funktion eine antizipative Komponente, indem sie die durch das Größenordnungsprinzip der Rekrutierung hervorgerufenen Verzerrungen in der Aktivierung der Muskulatur ausgleichen können. Die Golgi-Organen in den Sehnen nutzen hingegen Rückinformationen, um eine fehlerhafte Umsetzung zentraler Kommandos (z.B. infolge eines beeinträchtigten Funktionszustands der Muskulatur aufgrund vorangegangener konditioneller Belastungen) zu kompensieren. Da dieses Modell physiologisch plausibel ist und in den Berechnungen von BULLOCK/CONTRERAS-VIDAL (1993) empirische Daten sehr gut voraus sagen kann, gelangt MÜLLER (2000, 23) zu der Auffassung, dass „ein entscheidender Teil der spinalen Verschaltung ausschließlich dazu konstruiert ist, Konstanz der anzusteuern Gelenkstellungen und Spannungsverhältnisse zu sichern“.

Diese exemplarische Auswahl ließe sich sicherlich noch durch zahlreiche weitere Beispiele ergänzen. In dem Zusammenhang ist auch SCHNABEL (1987a) anzuführen, der – bezogen auf die Ebene der Bewegungskinetik – feststellt, dass die

"Konstanz des Ergebnisses [...] offensichtlich vor der Konstanz der Bewegungsstruktur den Vorrang [hat und] diese wieder vor der Konstanz einzelner Bewegungsparameter" (ebd., 162).

Abschließend kann festgestellt werden, dass der gewählte Ansatz seine Zielstellung erfüllt, neutral im Hinblick auf theoretische Grundpositionen zu sein. Am Ende seiner Ausführungen kann MÜLLER (2000), unabhängig von spezifischen Grundannahmen, festhalten, dass (vgl. ebd., 25)

- biologische Systeme unvorhergesehenen Einflüssen unterworfen sind,
- sie aber dennoch in der Lage sind, bestimmte gewünschte Ergebnisse relativ konstant herzustellen,
- sie dabei Phänomene zeigen, die als „Antizipation“ bzw. als „Kompensation“ bezeichnet werden können, und dass
- Teilsysteme eines Konstanz anstrebenden Gesamtsystems in ihrer Funktion und Struktur ebenfalls Konstanzphänomene zeigen.

Daraus leitet MÜLLER (2000) eine Ermutung ab: Der Feststellung von NEWELL/CORCOS (1993a), dass Variabilität auf allen Betrachtungs- und Analyseebenen auftreten sollte, stellt er die begründete Vermutung entgegen, dass dies dann aber auch für Konstanzphänomene gelten

sollte (vgl. MÜLLER 2000, 25). Konsequenterweise sei daher auch kein Grund zu sehen, warum eine Betrachtung der Bewegungskinetik ungeeignet sein sollte.

Das folgende Kapitel widmet sich der Darstellung, wie sich Variabilität, die trotz Konstanzfördernder Teilsysteme vorhanden ist, in der Bewegungskinetik, aber auch in dynamischen und zeitlichen Größen ausdrückt. Weitere Begriffsexplikationen, die sich auf die Arbeiten von MÜLLER (2000) stützen, und die auf den in diesem Kapitel gelegten Grundlagen aufbauen, erfolgen ebenfalls. Dies ermöglicht es, die letzte offene Frage zu beantworten, die MÜLLER (2000) zu dieser Thematik formuliert hat: Sind Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz ein Gegensatzpaar oder stehen sie in einem Bedingungs Zusammenhang?

3 „Gute“ und „schlechte“ Variabilität:

Anpassung und Rauschen

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Unterscheidung zweier Variabilitätsanteile, der *Anpassung* und dem *Rauschen* (vgl. MÜLLER 2000, 27; vgl. in diesem Sinne bereits KRECHEVSKY 1936). MÜLLER (2000, 27) hebt hervor, dass die Trennung dieser Komponenten eine wesentliche Bedeutung hat für die Frage, in welcher Relation Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz stehen (Gegensatzpaar oder Bedingungs Zusammenhang). Hierzu ist jedoch ein klares Begriffsverständnis, speziell des Begriffs „Variabilität“, erforderlich. Werden gleiche Begriffsbezeichnungen mit unterschiedlichen Begriffsintensionen und -extensionen verbunden, kann dies zu widersprüchlichen Befunden führen bzw. Erkenntnisgewinn behindern (vgl. DILLINGER 1999). Wie MÜLLER (2000, 27) jedoch aufgrund einer Analyse der vorliegenden Literatur zu diesem Themenfeld feststellen muss, existiert keine eindeutige und allgemein anerkannte Definition des Begriffs „Variabilität“. Vielmehr herrsche gar Verwirrung, wie auch NEWELL/VANEMMERIK/SPRAGUE (1993) konstatieren, da gleiche Begriffe häufig mit unterschiedlichen Begriffsintensionen verwendet werden.

Daher wird zunächst im folgenden Unterkapitel das dieser Arbeit zugrundeliegende Verständnis des Variabilitätsbegriffes expliziert, wobei ich mich hier an das Verständnis von MÜLLER (2000) anlehne, da ich die von ihm plausibel argumentierte Position teile. Weil in den vorliegenden Arbeiten der Anpassungsaspekt häufiger Gegenstand der Betrachtungen war, soll sich die folgende Darstellung diesem nur in der gebotenen Kürze widmen. Genau den Aspekten, die für die Bestimmung des zweiten Variabilitätsanteils, dem Rauschen, von Bedeutung sind, wird ein größerer Platz eingeräumt, da diese einen höheren Neuigkeitswert besitzen dürften und die Arbeit u.a. darauf abstellen wird, wie sich konditionelle Belastungen auf diesen Variabilitätsanteil auswirken.

3.1 Gleichheit und Ungleichheit

MÜLLER (2000) sieht das Alltagsverständnis des Begriffes „Variabilität“ als „die Unterschiedlichkeit von ‚an sich‘ Gleichem“ (ebd., 28), was zugleich auch das Kernverständnis der problembezogenen Literatur ist (vgl. z.B. NEWELL/CORCOS 1993a; NEWELL/SLIFKIN 1998). Eine sinnvolle Verwendung des Begriffes setzt nach MÜLLER (2000, 29) Folgendes voraus:

- Es müssen diejenigen Merkmale und deren Ausprägung festgelegt werden, die die Identität definieren, d.h. eine Entscheidung darüber ermöglichen, ob ein bestimmtes Objekt oder Element zur Menge der zu berücksichtigenden Fälle gehört oder nicht.
- Anschließend müssen dann die Merkmale bestimmt werden, in denen sich die Unterschiedlichkeit aller Elemente dieser Menge ausdrücken sollen.

Als identitätsdefinierende Merkmale führt MÜLLER (2000, 29) das *angestrebte Bewegungsergebnis* sowie die *Ausführungsbedingungen* an. Diese Unterscheidung basiert auf Positionen der Handlungstheorie, die als bewegungsbestimmende Merkmale einerseits das Bewegungsziel und andererseits die Ausführungsbedingungen ansieht. Vorrangiges Unterscheidungskriterium sei hierbei der zeitliche Aspekt: während das angestrebte Bewegungsergebnis einen *zukünftigen Zustand* beschreibt, beziehen sich die Ausführungsbedingungen auf einen *gegenwärtigen Zustand*. Das Bindeglied zwischen beiden Zuständen ist dann genau die *Bewegung*, welche beide Zustände ineinander überführt. Für die Entscheidung, ob es sich um vergleichbare Bewegungen handelt, ist nach MÜLLER (ebd.) demnach ausschlaggebend, ob es sich um zwei Bewegungen handelt, die a) das gleiche Bewegungsergebnis zum Ziel haben und b) unter gleichen Bedingungen ausgeführt werden¹.

Die von MÜLLER (2000) vorgenommene Identitätsdefinition legt fest, welche Bewegungen Gegenstand der Betrachtung sein sollen, oder, um es in seinen Worten zu sagen, welche Bewegungen „an sich“ gleich sind. Eine triviale Lösung dieses Problems bestünde darin, „Gleichheit“ nur dann anzunehmen, wenn in *allen* betrachteten Merkmalen Identität herrschte. Schränkt man vor dem Hintergrund dieser Vollständigkeitsforderung und der Auffassung BERNSTEINS (1975), dass es unmöglich ist, zweimal eine vollständig identische Bewegung durchzuführen, die Definition soweit ein, enthielte die Menge der betrachteten Elemente lediglich noch ein Element. Da sich unsere Fragestellung jedoch auf die Unterschiedlichkeit der Elemente (konkreter Bewegungen) einer Menge bezieht, wäre diese bezogen auf eine Menge, welche nur aus einem Element besteht, wenig sinnvoll (vgl. MÜLLER 2000, 31). In diesem Zusammenhang muss eine sinnvolle Identitätsdefinition folgende Bedingungen erfüllen (vgl. ebd.):

- Sie sollte einerseits so *präzise wie nötig* erfolgen und

¹ MÜLLER (2000, 31) weist explizit darauf hin, dass die von ihm gewählte Kategorisierung lediglich eine mehr oder weniger willkürliche Auswahl aus einer Vielzahl möglicher Ordnungssysteme darstellt. Die Entscheidung für die beiden Kategorien „angestrebtes Bewegungsergebnis“ und „Ausführungsbedingungen“ begründet er in der Einstufung des sich bewegenden als einem („quasi“-)intentionalen System (vgl. zu dieser Einstufung ausführlicher MÜLLER 2000, 15ff.).

- sie sollte andererseits *Freiraum für Unterschiedlichkeit* lassen.

Diese Bedingungen gelten für beide Komponenten der Identitätsdefinition, d.h. sowohl für das angestrebte Bewegungsergebnis, als auch für die Ausführungsbedingungen. Da Identität wiederum nur innerhalb bestimmter Grenzen gefordert werden kann, müssen

- eine mehr oder weniger breite Klasse von Ausführungsbedingungen (z.B. Außenspann- oder Innenspannstoß im Fußball) und
- eine Klasse angestrebter Bewegungsergebnisse (z.B. Torerfolg)

festgelegt werden, innerhalb derer die konkreten Größen variieren können, aber dennoch von Identität gesprochen werden kann. Die Festlegung der Klassenbreiten erfolgt im Einzelfall anhand der Interessen bzw. theoretischen Position des Untersuchenden (vgl. MÜLLER 2000, 32). Basierend auf diesen Ausführungen wird eine *Bewegungsaufgabe* in Anlehnung an MÜLLER (ebd.) wie folgt definiert:

Eine **Bewegungsaufgabe** ist eine Kombination einer Klasse von gewünschten Bewegungsergebnissen und einer Klasse von Ausführungsbedingungen, unter denen sie realisiert werden sollen.

Bei der Festlegung der Klasse der Ausführungsbedingungen müssen dabei sowohl extrapersonale Bedingungen (z.B. Torschuss mit vs. ohne Gegnereinwirkung) als auch intrapersonale Bedingungen (z.B. Torschuss im Zustand konditioneller Belastungseffekte vs. Torschuss in unbelastetem Zustand) Berücksichtigung finden. Für die konkrete Fragestellung dieser Arbeit ist dann an entsprechender Stelle zu entscheiden, ob die Realisierung eines bestimmten Bewegungsergebnisses im Zustand konditioneller Belastungseffekte gegenüber unbelastetem Zustand als eigene Klasse von Ausführungsbedingungen festzulegen ist, und damit qua definitionem eine andere Bewegungsaufgabe zu realisieren ist.

An dieser Stelle bedarf auch der zweite angesprochene Problempunkt einer Erläuterung: die Frage, wie die „Unterschiedlichkeit“ in der durch die Identitätsbedingung definierten Menge bestimmt werden kann. Aus Sicht der Person als sich zielbezogen bewegendes Subjekt ist von Interesse, mit welcher Konstanz es ihr gelingt, das gewünschte Bewegungsergebnis zu erreichen. Unter dieser Sichtweise schließe ich mich der Empfehlung MÜLLERS (2000, 33) an, zur Beschreibung der Unterschiedlichkeit auf Merkmale zurückzugreifen, die das Bewegungsergebnis, bezogen auf das zuvor intendierte Resultat, beschreiben und die Unterschiedlichkeit der tatsächlichen Ergebnisse quantifizieren. Die resultierenden Kenngrößen bezeichnen wir in Anlehnung an MÜLLER (2000, 33) als *Maße der Ergebnisvariabilität*. Löst man sich von der reinen Ergebnisorientierung, stellt sich darüber hinaus die Frage, wie

unterschiedlich Bewegungen ausgeführt werden. Zu dieser Beschreibung müssen verlaufsorientierte Bewegungsmerkmale herangezogen werden. Die hieraus resultierenden Kenngrößen werden im Folgenden als *Maße der Ausführungsvariabilität* bezeichnet. Dass diese Maße aber teilweise unterschiedliche und zumindest teilweise unabhängige Sachverhalte abbilden, kann u.a. auch MÜLLER (2000) mit seiner Arbeit zeigen. Er merkt an, dass sich die Ergebnisvariabilität „nicht durch simples Vorausprojizieren der Ausführungsvariabilität in die Ergebnisdimension bestimmen“ lässt (ebd., 33f.). Er nennt im Folgenden einige Kriterien, die bei der Auswahl von Variabilitätsmaßen zu berücksichtigen sind (ebd.) und stellt dabei als wichtigen Aspekt heraus: die Mindestvoraussetzung, um Ausführungs- und Ergebnisgrößen überhaupt miteinander vergleichen zu können, ist, dass sie in der gleichen Dimension ausgedrückt werden (vgl. MÜLLER 2000, 35). So ist einleuchtend, dass man beispielsweise beim Dartwurf die mittlere Abweichung vom Mittelpunkt der Dartscheibe mit den Streuungen in Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit nicht *direkt* vergleichen kann. Ist jedoch die rechnerische Beziehung zwischen Ausführungs- und Ergebnisgrößen bekannt, kann mit einem von MÜLLER entwickelten Verfahren (vgl. MÜLLER 1997a, MÜLLER 2000; vgl. auch Kapitel B1.1) ein solcher Vergleich über Dimensionsgrößen hinweg erfolgen.

3.2 Eine Begriffsabgrenzung: Variabilität und Genauigkeit

An dieser Stelle sollen die Begriffe „Variabilität“ und „Konstanz“ von weiteren Begriffen wie „Präzision“, „Genauigkeit“ und „Akkuranz“ abgegrenzt werden, denen man bei der Durchsicht relevanter Literatur zum Themenfeld „Variabilität und Konstanz im motorischen Verhalten“ ebenfalls begegnet. Die genannten Begriffe finden dabei sowohl Anwendung bei der Beschreibung der Bewegungsausführung, als auch bei der Beschreibung des Bewegungsergebnisses.

Eine Analyse vorhandener Literatur, die sich mit diesen Begrifflichkeiten beschäftigt (vgl. z.B. BÖS 1992; FETZ/JÄGER 1995; LOOSCH 1999; MECHLING 1992; SCHNABEL 1987a; SPRAY 1986), zeigt, dass unter „Genauigkeit“ bzw. dem zumeist synonym verwendeten Begriff „Präzision“ die Übereinstimmung eines bestimmten realisierten Istwerts mit einem bestimmten vorgegebenen Sollwert verstanden wird. Der Begriff der „Konstanz“ bezeichnet hingegen die Übereinstimmung bestimmter realisierter Istwerte untereinander. Der Begriff der „Variabilität“ ist dann das Antonym zur „Konstanz“. Während man etwas über die Genauigkeit bei einem singulären Bewegungsakt aussagen kann, setzt eine Aussage über Variabilität bzw. Konstanz zumindest zwei Bewegungsakte voraus. Da sich beide Merkmale sowohl auf die Bewegungsausführung, als auch auf das Bewegungsergebnis beziehen lassen, ist eine Kategorisierung bzgl. der

Analyseebene (Bewegungsergebnis vs. Bewegungsausführung) und dem herangezogenen Vergleichsparameter (Sollwert vs. realisierter individueller mittlerer Istwert) sinnvoll. Man gelangt dann zu den in Tabelle 1 genannten vier Begrifflichkeiten.

Tabelle 1: Klassifikation der verwendeten Begriffe hinsichtlich ihrer Analyseebene und des herangezogenen Vergleichsparameters.

		Analyseebene	
		Bewegungsergebnis	Bewegungsausführung
Vergleichsparameter	Sollwert	Ergebnisgenauigkeit	Ausführungsgenauigkeit
	Istwerte	Ergebniskonstanz	Ausführungskonstanz

Zur Operationalisierung der vorhandenen Konstrukte können unterschiedliche Berechnungsverfahren herangezogen werden (z.B. absoluter Fehler zur Operationalisierung der Genauigkeit, variabler Fehler zur Operationalisierung der Konstanz). Dies erfolgt bei Bedarf an entsprechender Stelle. Die Aspekte der Genauigkeit und der Konstanz lassen sich jeweils als ein Kontinuum verstehen, das im ersten Fall durch die Pole „genau“ und „ungenau“ und im zweiten Fall durch die Pole „konstant“ und „variabel“ begrenzt ist. Betrachtet man mehrere Bewegungsakte, so sind diese bzw. deren Ergebnisse als mehr oder weniger „genau“ bzw. mehr oder weniger „variabel“ zu bezeichnen. Die vier genannten Begriffe werden daher wie folgt definiert:

- **Ergebnisgenauigkeit** ist der Grad der Übereinstimmung des tatsächlichen Bewegungsergebnisses (Istwert) mit einem angestrebten Bewegungsergebnis (Sollwert).
- **Ausführungsgenauigkeit** ist der Grad der Übereinstimmung eines tatsächlich realisierten ausführungsbezogenen Parameters (Istwert) mit einem angestrebten ausführungsbezogenen Parameter (Sollwert).
- **Ergebniskonstanz** ist der Grad der Übereinstimmung der tatsächlichen Bewegungsergebnisse (Istwerte).
- **Ausführungskonstanz** ist der Grad der Übereinstimmung der tatsächlich realisierten ausführungsbezogenen Parameter (Istwerte).

An dieser Stelle sollte nun auch deutlich geworden sein, dass Genauigkeit und Konstanz prinzipiell voneinander unabhängig sein können. Ein Sportler kann sehr konstant ein bestimmtes Bewegungsergebnis erzielen, dabei aber wenig genau sein. So z.B. ein Sportschütze, der mit zehn Schüssen neunmal den Ring mit der Wertung „5“ trifft; er realisiert zwar sehr konstant ein bestimmtes Bewegungsergebnis, dieses ist jedoch wenig genau bzgl.

des angestrebten Sollwerts (der innere Ring mit der Wertung „10“²). HENDERSON (1977) konnte dies am Beispiel des Lernens eines Dartwurfes mit unterschiedlichen Feedback-Bedingungen nachweisen. So zeigte sich für eine Gruppe, die die Übungsphase mit kontinuierlichem visuellen Feedback absolvierte und in dieser sowohl ihre Ergebnisgenauigkeit und Ergebniskonstanz verbesserte, dass sich bei einem Wegfall des visuellen Feedbacks zwar die Genauigkeit in der Ergebnisdimension signifikant verschlechterte, die Konstanz im Ergebnis jedoch unverändert blieb.

Bezüglich des Aspektes der Genauigkeit liegen gerade aus dem Bereich der KR-Forschung (vgl. dazu Reviews von BLISCHKE/MARSCHALL/MÜLLER/DAUGS 1999; MAGILL 1993; SALMONI/SCHMIDT/WALTER 1984; SWINNEN 1996) zahlreiche Befunde vor, die eindrucksvoll zeigen, dass es über entsprechende Interventionsmaßnahmen recht schnell gelingt, einen geforderten Sollwert im Mittel anzusteuern. Dass es jedoch nie gelingt eine bestimmte Bewegung exakt zu reproduzieren, sie also völlig konstant auszuführen, darauf wurde bereits hingewiesen. Eine bestimmte Variabilität in der Bewegungsausführung ist also ständig vorhanden und für den Ausführenden auch nicht immer kontrollierbar. Gelingt es, gerade die nicht-kontrollierbare Variabilität auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren, wird sich in der Mehrzahl der Fälle auch die Ausführungsleistung über mehrere Bewegungsakte verbessern. In dieser Arbeit soll der Schwerpunkt hauptsächlich auf den Aspekt der Variabilität gelegt werden, der im nächsten Kapitel einer detaillierteren Betrachtung unterzogen werden soll.

3.3 Anpassung und Rauschen

Der Argumentation aus Kapitel A3.1 folgend, ist es nicht sinnvoll, eine Bewegungsaufgabe vollständig zu beschränken. Damit ist auch verbunden, dass die Bedingungen, unter denen diese Aufgabe ausgeführt wird, ebenfalls nicht vollständig beschränkt werden. Unter diesen Voraussetzungen ist zu beachten, dass wir unsere Bewegungen aktiv an die äußeren Gegebenheiten anpassen können. Dies ist z.B. der Fall, wenn wir einen Sprungwurf im Basketball aus verschiedenen Entfernungen zum Korb ausführen. Die Bewegungsausführungen werden entsprechend modifiziert. Sind solche Modifikationen im Bewegungsmuster verlässlich von einer Ausführungsbedingung zu einer anderen zu beobachten, wird in Anlehnung an MÜLLER (2000, 36) von *Anpassung* gesprochen. Diesen Variabilitätsanteilen, die einen Beitrag

² An dieser Stelle bedarf es noch einer kurzen Erläuterung: Man mag einwerfen, dass „Genauigkeit“ ein dichotomes Merkmal ist. Die zugrunde liegende Auffassung eines Kontinuums möchte ich daher an diesem konkreten Beispiel erläutern. Der Werfer, der neunmal die Wertung „5“ trifft, ist zwar, bezogen auf den angestrebten Sollwert, wenig genau, jedoch genauer als ein Werfer, der neunmal die Wertung „2“ trifft.

zur Gesamtunterschiedlichkeit leisten, gilt seit längerem das Hauptinteresse der Bewegungswissenschaft, wie MÜLLER (2000) konstatiert. SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN (1979, 420) heben jedoch hervor, dass ein weiterer Anteil der Varianz unsystematisch ist und nicht mit Veränderungen der Bedingungen einhergeht. Eine Einschränkung der Aufgabenbedingungen durch Bildung von Teilklassen und Unterklassen wird dazu führen, dass sich ab einem bestimmten Beschränkungsgrad die Variabilität in den Unterklassen nicht mehr von der Variabilität in der übergeordneten Klasse unterscheiden wird (vgl. MÜLLER 2000, 36). Die Abweichung eines Wertes in Relation zu den anderen trägt kein interpretierbares Signal hinsichtlich der Information, aus welcher Aufgabenbedingung dieser Versuch stammt. MÜLLER (ebd.) vermerkt, dass in diesem Falle die anpassungsbedingten Varianzanteile in den Hintergrund getreten sind, und er bezeichnet die verbleibenden Variabilitätsanteile als *Rauschen* (engl. noise). Gelingt es einer Person trotz entsprechender Bemühungen nicht, die Ausführungsvariabilität zu verringern und damit die Ausführung konstanter zu gestalten, nimmt MÜLLER (2000, 38) an, dass diese Fluktuationen in der Bewegungsausführung, die als Rauschen zu registrieren sind, von dem Ausführenden nicht kontrolliert werden können. In diesem Sinne sind auch BULLOCK/CONTRERAS-VIDAL (1993) zu verstehen:

„When motor variability measured with respect to some criterion of accuracy is of significant magnitude and cannot be attributed to across-trial variability in the performer's representation of the criterion, then it indicates an inability of the movement control system to perfectly realize a movement plan” (BULLOCK/CONTRERAS-VIDAL 1993, 183).

MÜLLER (2000, 38) stellt jedoch klar heraus, dass der Aspekt der Kontrollierbarkeit an dieser Stelle kein Definitionskriterium des Rauschens ist, es unter den genannten Bedingungen jedoch plausibel erscheint, dass das Rauschen den unkontrollierbaren Fluktuationen entspricht. Präzisiert man die Bewegungsaufgabe genügend, erreicht man schließlich einen Punkt, ab dem keine Anpassungen mehr zu beobachten sind. MÜLLER (2000, 39) bezeichnet diesen als *Rauschgrenze*. Da die unterhalb dieser Rauschgrenze verbleibende Variabilität, das Rauschen, eine ganz wesentliche leistungslimitierende Barriere darstellt, wenn eine erhöhte Konstanz im Bewegungsergebnis angestrebt wird, beschäftigt sich diese Arbeit akzentuiert mit dem Rauschanteil.

Scheint der prinzipielle Weg, den als Rauschen zu interpretierenden Variabilitätsanteil bei einer Bewegung zu bestimmen, unproblematisch zu sein (vgl. hierzu ausführlicher MÜLLER 2000, 38ff.), muss dem entgegen angemerkt werden, dass sich Anpassungen an Aufgabenbedingungen nicht immer unmittelbar, sondern auch verzögert zeigen können (vgl.

MÜLLER 2000). Die ermittelten Variabilitäten können also, trotz Beschränkung der Aufgabe, mit Anpassungsanteilen überlagert sein. Das Dilemma (einerseits definitorische Eindeutigkeit der Variabilitätsanteile, andererseits das Problem ihrer konkreten Quantifizierung) sieht MÜLLER (2000, 41) als unvermeidbar an. Vor diesem Hintergrund unterbreitet er den Vorschlag, für die praktische Bestimmung, „den Anpassungsanteil in irgendeiner Weise abzuschätzen und den zeitlichen Abstand zu vorausgegangenen Aufgaben so zu wählen, dass dieser geschätzte Anteil vernachlässigbar klein wird“ (ebd.). Ich werde mich in dieser Arbeit bei der Vorstellung von Untersuchungen zu dieser Thematik dem Vorgehen MÜLLERS (2000) anschließen und – unabhängig von der Begriffsverwendung der Autoren in den Originalarbeiten – im Sinne der oben genannten Definitionen von „Anpassung“ und „Rauschen“ sprechen. Durch diese verbindliche Begrifflichkeit wird sichergestellt, dass immer dann von Rauschen gesprochen wird, wenn entsprechend der angeführten Plausibilitätsgründe vorrangig auf die Unterschiedlichkeit abgestellt wird, die für den Ausführenden in der konkreten Situation nicht kontrollierbar ist.

In den folgenden beiden Unterkapiteln wird zunächst in Kürze der Aspekt der Variabilität als Anpassung thematisiert (Kapitel A3.3.1), bevor ausführlicher über den rauschbedingten Variabilitätsanteil gesprochen wird (Kapitel A3.3.2), dem in dieser Arbeit eine vorrangige Bedeutung zukommt.

3.3.1 Adaptive Variabilität

Die Variabilität als Anpassung sieht LOOSCH (1997) als ein „vielfältig präsenten Phänomen in der Bewegung“. Situative Veränderungen im inneren (z.B. infolge von Belastungseffekten) oder äußeren Milieu (z.B. Änderung der Spielsituation im Sportspiel), die vor oder während eines Bewegungsablaufes auftreten, erfordern differenzierte Anpassungsleistungen des Organismus im Hinblick auf das intendierte Ziel. Das Erreichen eines gleichen Bewegungsergebnisses durch den Einsatz verschiedener Körperteile, Muskelgruppen und Gelenke wird häufig als *motorische Äquivalenz* (*engl. motor equivalence*) bezeichnet (vgl. z.B. ABBS/COLE 1987; KELSO/DING 1993; STELMACH/DIGGLES 1982). ABBS/COLE (1987) geben einen Überblick über vorliegende Befunde zur motorischen Äquivalenz. So sind beispielsweise die Winkelgeschwindigkeiten in Ellbogen- und Schultergelenk variabler als die daraus resultierenden Handtrajektorien. Bei der Sprachproduktion zeigt sich, dass die Bewegungen von Unterlippe, Oberlippe und Kiefer kovariieren, d.h. sie sind variabler, als ihr kombinierter Beitrag zur Sprachproduktion. Eine Abgrenzung geschlossener Systeme (z.B. physikalische Systeme, deren finaler Status durch die Ausgangsbedingungen im Sinne eines linearen Ursache-Wirkungs-Verhältnisses eindeutig determiniert ist) von offenen Systemen (z.B. biologische oder psychologische) nimmt VON

BERTALANFFY (1952) vor. Bei letzteren kann ein finaler Status von unterschiedlichen Ausgangsbedingungen und über unterschiedliche Wege erzielt werden. Er spricht bei diesem Phänomen von *Äquifinalität* (engl. equifinality). Anpassungseffekte finden sich auch beim Anlauf zum Weitsprung (vgl. LEE/LISHMAN/THOMSON 1982; repliziert durch BERG/WADE/GREER 1994). Auf den letzten drei Schritten bricht die bis dahin beobachtbare Konstanz der Schrittlängen zusammen. Die leichten Variabilitäten in der Schrittlänge während des Anlaufes – die vorrangig als Rauschen zu klassifizieren sind – kumulieren und müssen im Hinblick auf einen optimalen Fußaufsatz auf dem Absprungbalken kompensiert werden. Als Anpassung an das motorische Verhalten eines Partners ist auch das Phänomen zu sehen, dass bei zwei Schmieden, die zusammen einen Gegenstand bearbeiten, die Variabilität in der Gesamtschlagdauer geringer ist als die Variabilitäten der Hub- und der Schlagdauer (vgl. DRILL 1933).

Hierunter aufzuzählen sind auch Phänomene der Anpassung an konditionelle Belastungseffekte. So zeigen sich beispielsweise bei einer Sprungaufgabe, die verlangt, 30% der individuellen maximalen Sprunghöhe mit einer Sprungfrequenz von 2 Hz bis zum Abbruch anzusteuern, dass es zu Veränderungen ebenso in relevanten kinematischen Parametern wie auch im Elektromyogramm (EMG) kommt (vgl. BONNARD/SIRIN/ODDSSON/THORSTENSSON 1994). Dies kann als Anpassung an Belastungswirkungen interpretiert werden, die somit kompensiert werden. Ebenso ist die Zunahme der elektrischen Aktivität im Muskel und ein Anstieg des Laktats über mehrere Serien während eines Krafttrainings (vgl. POLLMANN 1993) als Anpassung zu sehen, da hierdurch sichergestellt wird, dass die zu bewältigenden Lasten in der gewünschten Wiederholungszahl bewegt werden können. Auch eine Veränderung kinematischer Parameter infolge Ermüdung beim wiederholten Heben einer bestimmten Last wird von VAN DIEËN/VAN DER BURG/RAAIJMAKERS/TOUSSAINT (1998) als funktionale Anpassung interpretiert, um die geforderte Bewegungsaufgabe trotz eintretender Belastungseffekte noch zu erfüllen. Eine infolge konditioneller Belastungswirkung beobachtbare erhöhte Variabilität in ausführungsbezogenen Parametern ist jedoch nicht zwingend als Anpassung zu klassifizieren. Notwendige Voraussetzung hierfür ist, dass die erhöhte Variabilität in der Bewegungsausführung das Erreichen des intendierten Bewegungsziels sichert, so wie in den oben angeführten Beispielen. Je stärker man die Ausführungsbedingungen einschränkt, gerade durch Reduktion nutzbarer Freiheitsgrade, desto stärker verlagert sich die dann beobachtbare Variabilität in Richtung „Rauschen“.

Bezogen auf motorisches Lernen findet sich der Aspekt der Variabilität als Anpassung auch im Phasen-Modell des motorischen Lernens (SCHNABEL 1987b; vgl. dazu ausführlicher Kapitel A4.2) und in der Schema-Theorie von SCHMIDT (1975; vgl. hierzu detaillierter Kapitel A4.3)

wieder. Diesen beiden angeführten Ansätzen gemeinsam ist die Prämisse, dass die Anpassung zu verstehen ist als ein Reagieren auf Veränderungen, die sich sowohl auf die Ausführungs-, als auch auf die Zielbedingungen beziehen. Daraus ergeben sich für LOOSCH (1997) auch die inhaltlichen Grenzen: Wenn die Bedingungen unverändert, d.h. konstant bleiben, dann wird Variabilität in der Folge als Fehler interpretiert. Die fehlerhafte Variabilität, von der LOOSCH (1997) spricht, ist in dem hier verwandten Begriffsinventar mit dem Rauschen synonym. Dieser Variabilitätsanteil soll nun Gegenstand der Betrachtung sein.

3.3.2 Rauschbedingte Variabilität

Nach traditioneller Sichtweise werden Abweichungen in der Bewegung, die nicht intendiert sind, einem „Rauschen“ zugeschrieben, wie man es auch in technischen Systemen findet. Bereits BERNSTEIN (1975, 89) wies darauf hin, dass sich eine Bewegung nie identisch reproduzieren lässt. Neuere Arbeiten (vgl. z.B. NEWELL/CORCOS 1993b, NEWELL/SLIFKIN 1998) thematisieren ebenfalls diesen Sachverhalt und bezeichnen dieses Restmaß unsystematischer, nicht kontrollierbarer Ausführungsvariabilität eben als "*Rauschen*" (ebd., 4f.). Das Phänomen der Ausführungsvariabilität wird dabei als natürliche Eigenschaft nicht nur des menschlichen Organismus angesehen, sondern sie ist vielmehr „inherent within and between all biological systems“ (NEWELL/CORCOS 1993a, 1). Variabilität ist somit eine unvermeidbare Eigenschaft des motorischen Systems, die sich auf unterschiedlichen Ebenen zeigt (vgl. allgemein MARAJ/ALLARD/ELLIOTT 1998; MARAJ/ELLIOTT/LEE/POLLOCK 1993; Rauschen als Eigenschaft des neuromuskulären Systems vgl. MEYER/ABRAMS/KORNBLUM/WRIGHT/SMITH 1988; VAN GALEN/PORTIER/SMITS-ENGELSMAN/SCHOMAKER 1993; VAN GALEN/VAN HUYGEVOORT 2000; Rauschen als Eigenschaft sowohl der Kraft-, als auch der timing-relevanten Systeme vgl. z.B. SHERWOOD 1986; in diesem Sinne auch GOTTLIEB/CORCOS/AGARWAL 1989).

Die aus rauschbehafteten Prozessen im motorischen System möglicherweise resultierenden Abweichungen realisierter Bewegungsparameter von vorgegebenen anzusteuern Sollwerten werden als Ausführungsfehler bezeichnet, die mitunter dann zu einer mangelnden Zielerreichung führen. So würde man von einer fehlerhaften Bewegungsausführung sprechen, wenn es einem Basketballspieler nicht gelingt, den Freiwurf im Korb zu versenken. Die fehlerverursachende Variabilität in der Bewegung tritt dabei einerseits in den Kräften, andererseits als Resultat davon in den zeitlichen und räumlichen Parametern auf (vgl. z.B. SCHMIDT 1988, 285ff.; SCHMIDT/LEE 1999, 184ff.). Im Folgenden werden Aspekte der zeitlichen Kontrolle, als auch der Kraftproduktion und Parameter der Kinematik bezüglich des Rauschens näher betrachtet.

3.3.2.1 *Rauschen und zeitliche Kontrolle*

Aus evolutionärer Sicht thematisiert CALVIN (1983; 1991) das Werfen und gelangt zu dem Schluss, dass schnellere und genauere Würfe ein Vorteil für den Jäger sind, immer unter der Voraussetzung, „that the brain can cope with the more precise timing requirements for letting loose of the projectile“ (CALVIN 1991, 187). Entscheidend ist, dass der Loslasszeitpunkt trotz vorhandenem neuronalen Rauschen (beim einzelnen Neuron etwa 100 msec) präzise erreicht wird. Eine exakte zeitliche Kontrolle von Bewegungen ist somit eine wesentliche Voraussetzung von Genauigkeitsleistungen. Eine Möglichkeit, die Genauigkeit des neuronalen Timings über die eines einzelnen ungenauen Neurons zu steigern, besteht darin, mehrere Neuronen parallel zu schalten gemäß dem Gesetz der großen Zahlen. Die Zusammenschaltung von Neuronen könnte über eine zeitweilige Synchronisation großer Areale des Kortex geschehen unter Ausnutzung der vielfältigen intrakortikalen Verbindungen zwischen den verschiedenen Arealen. Neuronen könnten von ihrer Primäraufgabe – vorausgesetzt sie haben eine – zeitweilig abgezogen werden. Somit könnte der Wurferfolg einen Selektionsdruck in Richtung Enzephalisations-Trends im Genom ausgeübt haben (im Sinne eines „größer-ist-schneller-ist-besser“). CALVIN (1991) hypothetisiert, dass als emergente Eigenschaften aus der Enzephalisierung Sprache und Bewusstsein hervorgegangen sind. Unabhängig davon, ob die Überlegungen von CALVIN zutreffend sind, können sie an dieser Stelle, so MÜLLER (2000), als Denkanstoß dienen, dass eine Verbesserung der zeitlichen Genauigkeit neuronale Plastizität erfordert.

Zur zeitlichen Kontrolle des Loslasszeitpunktes bei Wurfbewegungen liegen eine Reihe von Befunden aus der Arbeitsgruppe um HORE vor. Diese zeigen durchweg für eine trefferorientierte Wurfbewegung im Labor, dass die Werfer keineswegs in der Lage sind, die von CALVIN berechneten Genauigkeiten zu erreichen. Bezogen auf einen räumlichen Referenzpunkt (Vertikalposition der Wurfhand) zeigen die sieben Vpn in der Untersuchung von HORE/WATTS/MARTIN/MILLER (1995) eine Variabilität im Loslasszeitpunkt (operationalisiert über die Standardabweichung) von 1,6 msec (im günstigsten Fall) bis zu 3,9 msec (im ungünstigsten Fall). Ein entscheidender Faktor, der das Timing des Loslassens beeinflusst, ist der Zeitpunkt der Fingerstreckung. Bezogen auf den gleichen räumlichen Referenzpunkt ermitteln HORE/WATTS/MARTIN/MILLER (1995) für die Variabilität des Timings der Fingerstreckung Werte zwischen 1,8 msec und 3,5 msec. Weitere Untersuchungen aus dieser Arbeitsgruppe mit der gleichen Bewegungsaufgabe zeigen:

- eine um das fünffache höhere Variabilität im Loslasszeitpunkt und eine vierfach höhere Variabilität des Beginns der Fingerstreckung bei Patienten mit Kleinhirnläsionen, welche mit einer verminderten Trefferleistung einhergehen (vgl. TIMMANN/WATTS/HORE 1999)
- eine etwa doppelt so hohe Variabilität im Loslasszeitpunkt und beim Beginn der Fingerstreckung für den nicht-dominanten gegenüber dem dominanten Wurfarm (HORE/WATTS/TWEED/MILLER 1996)

Für eine virtuelle Pendelbewegung findet MÜLLER (2000) Variabilitäten im Loslasszeitpunkt, die zu Beginn eines Übungsprozesses im Mittel zwischen 30,6 und 44,4 msec liegen und sich über die Übungsphase hinweg auf im Mittel ca. 22,4 msec verringern.

Effekte eines ungenauen zeitlichen Timings finden sich auch in weiteren Bewegungsdaten. Aufgrund eines Modells im Rahmen der „theory of motor-output variability“ gelangen SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN (1979) für schnelle Timing-Aufgaben (z.B. eine bestimmte Distanz oder einen bestimmten Winkel in einer festgelegten Zeit zurückzulegen) zu der Aussage, dass für solche Aufgaben die Variabilität in der Bewegungsdauer direkt proportional zur Bewegungsdauer selbst und unabhängig von der geforderten Bewegungsamplitude ist. Empirische Daten der Autoren bestätigen diese Modellannahmen für Hebelbewegungen über 22° resp. 46° in 100 msec resp. 200 msec (vgl. ebd.).

Weitere Befunde mit Hebelbewegungen zeigen

- bei zwei verschiedenen Distanzen (30° bzw. 60°) mit vier verschiedenen Zeitvorgaben (von 150 msec bis 300 msec), dass zwar ebenfalls mit Zunahme der Bewegungszeit, aber auch mit Abnahme des Bewegungsumfangs die zeitliche Variabilität größer wird (SHERWOOD 1986).
- bei zwei Distanzen (5 und 15 cm) und drei verschiedene Bewegungszeiten (100 msec, 500 msec und 1000msec), dass die Variabilität im Timing sowohl mit zunehmender Bewegungszeit, als auch mit abnehmendem Bewegungsumfang und damit geringerer durchschnittlicher Geschwindigkeit (außer für die 100 msec-Bedingung) ansteigt (NEWELL/HOSHIZAKI/CARLTON 1979).
- bei vier verschiedenen Distanzen und drei unterschiedlichen Zusatzlasten (Bewegungszeit 200 msec), dass sich die Variabilität in der Bewegungszeit verringerte, wenn Bewegungsumfang bzw. Bewegungsgeschwindigkeit oder Zusatzlast anstiegen (NEWELL/CARLTON/CARLTON 1982).

- eine Verringerung der zeitlichen Variabilität mit zunehmender Zusatzlast und einen Zusammenhang der zeitlichen Variabilität zum Verhältnis von gebildeter Kraft und Variabilität der Kraft (SHERWOOD/SCHMIDT 1980).
- bei fünf verschiedenen Kombinationen von Bewegungsumfängen und Bewegungsdauern, dass für die drei Bedingungen mit gleichem Drehmomentstoß ein Anstieg in der zeitlichen Variabilität mit zunehmender Bewegungsdauer und größerem Bewegungsumfang festzustellen ist. Dieses Ergebnis wird von den Autoren als Funktion des Anstiegs in der Bewegungszeit gesehen, weshalb sie diese Effekte dadurch herauszupartialisieren versuchen, indem sie den Variationskoeffizienten als Streuungsmaß heranziehen. Hier zeigt sich gerade für die kürzeste Bewegungszeit und den kleinsten Bewegungsumfang eine höhere relative Variabilität gegenüber den beiden anderen Bedingungen. Die beiden Bedingungen mit einem höheren Drehmomentstoß zeigen gegenüber diesen drei Bedingungen eine weitere Abnahme in der relativen Variabilität. Dieser Befund wird in einem Folgeexperiment auch für höhere durchschnittliche Geschwindigkeiten repliziert (CARLTON/NEWELL 1988).
- für eine Hebelbewegung über eine feste Distanz, die verlangt, 19 unterschiedliche prozentualen Durchschnittsgeschwindigkeiten bezogen auf die maximale Durchschnittsgeschwindigkeit zu absolvieren, dass die Variabilität im Timing mit zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit abnimmt. In einem Folgeexperiment (drei verschiedene Distanzen mit sechs verschiedenen Geschwindigkeiten) zeigte sich außerdem, dass bei den drei schnellen Bewegungsgeschwindigkeiten zusätzlich der Bewegungsumfang einen Effekt hat: der größte Bewegungsumfang produziert einen größeren zeitlichen Fehler als der kleinste (JASIEWICZ/SIMMONS 1996).

In einem Lernexperiment (Hebelbewegung von 60° in 200 msec) mit verschiedenen Rückmeldebedingungen zeigt SHERWOOD (1988), dass die Variabilität in der Bewegungszeit über die Aneignungsphase unabhängig von der Rückmeldebedingung geringer wird. In einem Transfertest ohne Rückmeldung zeigt sich hinsichtlich der zeitlichen Variabilität jedoch die Überlegenheit einer 10%-Bandwidth-KR-Bedingung (d.h. KR wird nur dann gegeben, wenn die Bewegungszeit eine Bandbreite von $\pm 10\%$ der geforderten Bewegungszeit überschreitet) gegenüber einer 5%-Bandwidth-KR-Bedingung, die wiederum einer normalen KR-Bedingung überlegen ist. In einem weiteren Lernexperiment (Hebelbewegung von 60° in 600 msec) wurde von GUAY/SALMONI/LAJOIE (1999) ebenfalls der Einfluss verschiedener Rückmeldebedingungen auf die zeitliche Variabilität untersucht. Als Hauptergebnis kann über die Aneignungsphase (80

Versuche) unabhängig von der Rückmeldebedingung auch hier eine Verringerung dieses Parameters beobachtet werden.

Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass zeitliche Merkmale von Bewegungen Rauschen zeigen, also eine nicht kontrollierbare Variabilität. Das Ausmaß des zeitlichen Rauschens ist dabei von spezifischen Ausführungsbedingungen abhängig (z.B. Bewegungsumfang und Bewegungsdauer) und kann durch Übung reduziert werden. Der Ursprung dieses Rauschens kann (vgl. MÜLLER 2000, 45) a) sowohl in Fluktuationen der zentralen Vorgabe, aber auch b) in der peripheren Übertragung liegen. Arbeiten, die sich speziell dem Einfluss konditioneller Belastungen auf die zeitliche Kontrolle von Bewegungen widmen, liegen meines Wissens nicht vor. Aus den von MÜLLER (ebd.) genannten möglichen Ursprüngen des Rauschens könnten sich jedoch folgende Annahmen ableiten lassen: Konditionelle Belastungen, die Effekte in Timing-relevanten Arealen des ZNS (z.B. dem Cerebellum) bzw. in solchen Arealen hervorrufen, die dorthin projizieren, könnten zu Veränderungen in der zentralen Vorgabe führen, während konditionelle Belastungen, die Effekte im neuromuskulären System bewirken, zu Fluktuationen in der peripheren Übertragung führen sollten. Ausschließen würde ich an dieser Stelle allerdings nicht, dass infolge konditioneller Belastungen resultierende zentralnervöse Effekte, insbesondere Prozesse zentralnervöser Aktivierung (vgl. dazu Kapitel A8.1), nicht auch zu einem geringeren Rauschen in der zeitlichen Vorgaben führen könnten. Dies ist jedoch spekulativ.

3.3.2.2 *Rauschen und Kraftproduktion*

Zum Zusammenhang von dynamischen Größen (u.a. Kraft, Impuls) und entsprechender Variabilität dieser Größen liegen eine Reihe von Untersuchungen vor (z.B. CARLTON/NEWELL 1988; CARLTON/NEWELL 1993; NEWELL/CARLTON 1985; NEWELL/CARLTON 1988; NEWELL/CARLTON/HANCOCK 1984; SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN 1979; SHERWOOD/SCHMIDT 1980). Zur Beschreibung des Zusammenhangs von Kraftvariabilität und Kraft wurden unterschiedliche Funktionen herangezogen (vgl. im Überblick NEWELL/CARLTON/HANCOCK 1984): eine ansteigende Quadratwurzel-Funktion, eine nicht-proportionale, aber ansteigende Funktion, eine lineare Funktion, eine umgekehrte-U-Funktion, sowie eine umgekehrte-J-Funktion. Einige empirische Befunde sollen im Folgenden vorgestellt werden.

SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN (1979) propagieren in ihrer Theorie der „motor-output-variability“ bezüglich der Impulsvariabilität für kürzere Bewegungen einen linearen Zusammenhang von Standardabweichung der Kraft und gebildeter Kraft und ebenso für die

Standardabweichung der Kraftstoßdauer und der Kraftstoßdauer selbst. Ihre Modell-Annahmen können sie zwar empirisch fundieren, jedoch sind die im Rahmen ihres Experimentes untersuchten Kraftwerte als eher gering anzusehen, weshalb diese Befunde lediglich für einen begrenzten Geltungsbereich zutreffen. Auch SHERWOOD/SCHMIDT (1980) finden einen linearen Zusammenhang von gebildeter Kraft und Variabilität der Kraft bei isometrischen Kontraktionen, wobei auch hier lediglich das untere Spektrum der Kraftfähigkeit abgedeckt wird (zwischen 0,26 und 3,22 % der individuellen Maximalkraft). Mit weiteren Experimenten, die ebenfalls den Einsatz größerer prozentualer Anteile der individuellen Maximalkraft fordern, können SHERWOOD/SCHMIDT (1980) dann jedoch sowohl für isometrische, als auch für dynamische Kontraktionen aufzeigen, dass Kraft und Kraftvariabilität im Bereich geringer Kräfte zwar einen linearen Anstieg aufweisen, die Variabilität bei etwa 65% der individuellen Maximalkraft am größten ist und bei einem weiteren Anstieg der zu bildenden Kraft wiederum ein Rückgang in der Kraftvariabilität zu verzeichnen ist (vgl. SHERWOOD/SCHMIDT 1980, Experiment 2 und 4). Der Zusammenhang von Kraft und Kraftvariabilität hat somit die Form eines umgekehrten U. Für diesen Befund bieten sie zwei Erklärungsalternativen an. Die einfachste Erklärung besteht in einem Deckeneffekt. Im Bereich fast maximaler Kräfte können Probanden nicht mehr derart überschießen wie im Bereich mittlerer Kräfte. Dies könnte zu einer signifikanten Verringerung der Kraftvariabilität führen. Eine weitere Erklärung bezieht sich auf die Innervationscharakteristik der Muskulatur. Im Bereich geringer Kräfte wird die Kraftentfaltung über eine zunehmende Rekrutierung motorischer Einheiten gesteuert, im Bereich höherer Kräfte wird die Frequenzierungsrate zunehmend zum wichtigsten Faktor. Möglicherweise manifestiert sich der Bruch in der Linearität an dem Punkt, an dem von Rekrutierung auf Frequenzierung umgeschaltet wird. CARLTON/NEWELL (1993) propagieren einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen Standardabweichung (SD) der Kraftmaxima (PF = peak force) und der mittleren Höhe des Kraftmaximums sowie der Zeit zum Erreichen der Kraftmaxima (T_{PF} = time to peak force). Diese Annahme stützen sie auf einer Analyse vorliegender Arbeiten zu dieser Thematik (vgl. NEWELL/CARLTON/HANCOCK 1984) und eigenen empirischen Befunden (vgl. NEWELL/CARLTON 1988).

Gleichung A 3.1

$$SD_{PF} \propto \frac{PF^{\frac{1}{2}}}{T_{PF}^{\frac{1}{4}}}$$

Ein Vergleich dieses Zusammenhangs und anderer propagierter Zusammenhänge von gebildeter Kraft und Kraftvariabilität mit empirischen Daten zeigt, dass Gleichung A 3.1 die empirisch ermittelten Daten am besten beschreiben kann (vgl. CARLTON/NEWELL 1993, 29).

Eine entsprechende Formel für die Variabilität des Kraftstoßes wurde von CARLTON/KIM/LIU/NEWELL (1993) entwickelt und empirisch bestätigt:

Gleichung A 3.2

$$SD_{\text{Kraftstoß}} \propto \frac{4 * PF^{\frac{1}{2}}}{T_{PF}^{\frac{1}{4}}} * \left(\frac{1}{2} t^2 - \frac{1}{3} t^3 \right)$$

mit t = Dauer des Kraftstoßes.

Man kann an dieser Stelle der Feststellung MÜLLERS (2000, 47) nur beipflichten, dass an der Detailliertheit dieser Formeln deutlich werden sollte, dass die Variabilität kraftbezogener Bewegungsparameter das wohl bestuntersuchte Themengebiet im Gesamtkomplex der Variabilität ist. Die aufgeführten Untersuchungen zeigen eindrucksvoll, dass Rauschen auch auf der dynamischen Ebene vorhanden ist.

Ob diese Modellrechnungen auch die Variabilität der Kraftmaxima und des Kraftstoßes unter den Effekten vorausgehender konditioneller Belastungen valide beschreiben, ist meines Wissens nach bisher nicht untersucht worden. Eine umfangreiche Analyse vorliegender Arbeiten zu dieser Thematik (vgl. OLIVIER 1996a, 54ff.) zeigt u.a., dass diese Kraftparameter durch vorhergehende konditionelle Belastungen beeinflusst werden können (z.B. Reduktion des Kraftmaximums und der Größe des Kraftstoßes). So entspräche ein bestimmter anzusteuender Kraftwert bei einem belastungsbedingt reduzierten Maximalkraftniveau einer höheren Ausschöpfung der Ressource Maximalkraft mit entsprechenden Effekten auf die Variabilität der beobachteten Kraftparameter. Empirische Untersuchungen sollten dieses Forschungsdefizit in Zukunft beheben.

Einige wenige Untersuchungen überprüften empirisch, wie sich bestimmte Belastungen auf das Rauschen bei der Kraftproduktion auswirken. SHEA/SHEBILSK/KOHL/GUADAGNOLI (1991) untersuchten bei einer Aufgabe, die darin bestand, eine Kraft von 200 N gegen einen Widerstand zu produzieren, wie sich verschiedene Vorbelastungen auf den totalen Fehler³ auswirken. Die Vorbelastungen bestanden darin, entweder eine kontinuierliche Kraft, die 30% der MVC (*engl.* maximum voluntary contraction; das ist die Kraft, die bei maximaler willkürlicher Kontraktion gebildet werden kann) entsprach oder eine variable Kraft (von 10% der MVC bis 60% der MVC mit 10%igen Anstiegen) über die Dauer von 20 sec zu bilden. Es zeigte sich, dass unter der variablen Vorbelastung der totale Fehler erhöht ist. Leider fehlte in dieser

³ Der totale Fehler ist ein Fehlermaß, das sowohl die Genauigkeit, als auch die Variabilität von Bewegungen abbildet (vgl. SCHMIDT 1988, 59).

Untersuchung einer Kontrollgruppe, um das Ausmaß der Vorbelastung auf den totalen Fehler quantifizieren zu können. KOS/STAROSTA (1997) ermittelten, wie sich das Durchschwimmen einer 2000m-Strecke auf die Kraftgenauigkeit auswirkt. Dabei sollten im Anschluss an die Belastung 50% der MVC gegen ein Kraftmessgerät gebildet werden. Die von den Autoren angegebenen Streuungen zeigen für die Mädchen sowohl in linker, als auch rechter Hand eine Abnahme der Variabilität, für die Jungen nur in der rechten Hand. Leider wurden diese Variabilitäts-Kennwerte nicht inferenzstatistisch auf Unterschiede überprüft. HARIG (1998) untersuchte die Wirkung verschiedener konditioneller Belastungen auf das motorische Gleichgewicht. Dieses operationalisierte er über die atemfrequenzbereinigten Standardabweichungen der Bodenreaktionskräfte der drei Raumrichtungen, die er anschließend vektoriell addierte (vgl. dazu ausführlicher HARIG 1998). Dieses Maß kann daher direkt als Indikator für Rauschen herangezogen werden. Konkret überprüfte er, wie sich zwei neuromuskuläre Beanspruchungen der Beinextensoren und eine zentralnervöse Beanspruchung beim normalen, einbeinigen Stehen und beim Stehen unter visueller Deprivation auf das Gleichgewichtsverhalten auswirken. Dies sind in dem dieser Arbeit zugrundeliegenden Verständnis drei unterschiedliche Bewegungsaufgaben, da sich die Ausführungsbedingungen unterscheiden. Die vorhandenen Variabilitäten in der Gleichgewichtsregulation, die sich auch unbelastet zeigen, sind zu einem gewissen Maße auch auf adaptive, hauptsächlich reflektorische Prozesse der Gleichgewichtsregulation zurückzuführen. Eine veränderte Variabilität infolge einer Belastung innerhalb einer Aufgabenstellung ist zu einem geringeren Anteil auch auf adaptive Prozesse zurückzuführen, ein größerer Anteil der festzustellenden Variabilität ist jedoch rauschbedingt. Die Ergebnisse der Untersuchung von HARIG (1998) zeigt in zusammengefasster Form Tabelle 2.

Tabelle 2: Auswirkungen unterschiedlicher Belastungen auf das motorische Gleichgewicht bei verschiedenen motorischen Aufgaben („+“ bedeutet eine Zunahme des Rauschens nach der Belastung, „-“ analog eine Abnahme des Rauschens nach Belastung, „0“ bedeutet, dass sich kein Effekt zeigt; nach HARIG 1998).

	Fahrradbelastung	Wadenbelastung	Handkurbelbelastung
Normales Stehen	+	0	0
Einbeiniges Stehen	+	+	0
Stehen unter visueller Deprivation	+	+	+

An dieser Stelle lässt sich festhalten, dass eine Validierung vorhandener Modellierungen zur Variabilität spezifischer Kraftparameter auch unter Effekten konditioneller Belastungen erfolgen

sollte, da solche Untersuchungen meines Wissens nach vollständig fehlen. Unter der hypothetischen Annahme, dass die von CARLTON/NEWELL (1993) und CARLTON/KIM/LIU/NEWELL (1993) vorgestellten Formeln auch unter diesen Bedingungen eine valide Beschreibung des propagierten Zusammenhangs liefern, sollte dann infolge einer konditionellen Belastung, die das aktuell zu bildende Kraftmaximum bzw. die Kraftstoßgröße verringert, eine höhere Variabilität im Kraftmaximum bzw. eine höhere Variabilität in der Größe des Kraftstoßes feststellbar sein, da ein bestimmter anzusteuender Kraftwert bzw. Kraftstoß dann einer höheren Ausschöpfung der herangezogenen Ressource entsprächen. Das Rauschen nähme demzufolge nach bestimmten Belastungen zu. Untersuchungen, die sich mit der Auswirkung bestimmter Belastungen auf die Variabilität dynamischer Parameter beschäftigen, sind leider nicht zahlreich. Von den aufgeführten Arbeiten legt zumindest die Studie von HARIG (1998) eine rauscherhöhende Wirkung konditioneller Belastungen für dynamische Parameter nahe.

3.3.2.3 *Rauschen in kinematischen Bewegungsparametern*

Wenn Rauschen in den dynamischen Größen auftritt, muss sich aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten Rauschen auch in kinematischen Größen zeigen. Hierzu sollen exemplarische Befunde vorgestellt werden.

Im Rahmen ihrer Theorie der „motor-output variability“ stellen SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN (1979) den Zusammenhang zwischen Rauschen in den dynamischen und Rauschen in den kinematischen Bewegungsparametern her. Ihrem Modell zufolge ist die effektive Zielweite (W_E ; das ist die Variabilität um einen angestrebten Zielpunkt) proportional zum Bewegungsumfang (A) und umgekehrt proportional zur Bewegungszeit (MT). Fasst man diese beiden Aussagen zu einer Formel zusammen, so ergibt sich für die Variabilität im Zielpunkt:

Gleichung A 3.3
$$W_E \propto \frac{A}{MT}$$

Für langsame Ziel-Bewegungen ($\geq 200\text{msec}$) kann dieser Zusammenhang nicht empirisch bestätigt werden. Für schnelle Bewegungen (untersucht wurden Bewegungszeiten zwischen 140 msec und 200 msec über 10 cm bis 30 cm) zeigte sich jedoch ein Zusammenhang zwischen W_E und A/MT von $r = .97$.

Weitere Untersuchungen zu diesem Themenbereich zeigen beispielsweise

- für eine 60°-Armbewegung in 200 msec ohne und mit zwei verschiedenen Zusatzlasten (735 und 1350g, dies entspricht etwa 69 resp. 85% der individuellen Maximalkraft), dass zu der 735g-Zusatzlast ein Anstieg in der räumlichen Variabilität zur 1350g-Zusatzlast wiederum ein Rückgang in der räumlichen Variabilität festzustellen ist (SCHMIDT/SHERWOOD 1982). Weitere Experimente mit unterschiedlichen Bewegungszeiten und Zusatzlasten, die ebenfalls einen unterschiedlichen prozentualen Einsatz der Maximalkraft forderten, konnten diese Befunde, die eine umgekehrte U-Funktion nachweisen, replizieren (vgl. SCHMIDT/SHERWOOD 1982).
- für eine 5°-Drehbewegung in 200 msec (Variation des Drehmomentstoßes bei Konstanthaltung des Drehmomentanstiegs) ohne bzw. mit drei unterschiedlichen Zusatzlasten (5 kg bis 20 kg), dass die Variabilität im räumlichen Fehler mit steigender Zusatzlast ansteigt (CARLTON/NEWELL 1988).
- für Drehbewegungen zwischen 5° und 25° in 200 msec mit angepassten Lasten (Konstanthalten des Drehmomentstoßes bei Variation des Drehmomentanstiegs), dass mit zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit die Variabilität im räumlichen Fehler geringer wird (CARLTON/NEWELL 1988).
- für Drehbewegungen zwischen 2,5° und 9,7° mit Bewegungszeiten zwischen 100 msec und 227 msec (Variation von Drehmomentstoß und Anstieg des Drehmomentstoßes), dass für die drei Bedingungen mit einem gleichen Drehmomentstoß (und damit gleicher Durchschnittsgeschwindigkeit) die Variabilität im räumlichen Fehler mit zunehmendem Bewegungsumfang ansteigt. Die beiden Bedingungen mit einem höheren Drehmomentstoß weisen relativ (Variationskoeffizient) einen geringeren räumlichen Fehler auf (CARLTON/NEWELL 1988). Dieser Befund konnte auch für höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten repliziert werden (vgl. CARLTON/NEWELL 1988).
- für das Erlernen einer Hebelbewegung von 60° in 600 msec, dass die räumliche Variabilität über 80 Übungsserien geringer wird und die Art der Rückmeldung keinen Effekt zeigt (GUAY/SALMONI/LAJOIE 1999).

Während in diesen Untersuchungen meist einfache Positionierungsaufgaben Untersuchungsgegenstand waren und Variabilitäten kinematischer Parameter erfasst wurden, war das Ansteuern dieser Parameter gerade das Bewegungsziel, d.h. es wurden Variabilitäten auf der Ergebnisebene beschrieben. Wie MÜLLER (2000, 49) vermerkt, ist man bei der

Beschreibung auf der Ergebnisebene an die Merkmale gebunden, die das gewünschte Bewegungsergebnis definieren; bezieht man sich auf die Ausführungsebene, ist die Entscheidung, welche kinematischen Parameter betrachtet werden, allerdings offener. Bezogen auf den Aspekt des Rauschens schlägt er jedoch weitergehend vor, den Verlauf der Bewegungen und damit die Ausführungsvariabilität stets aufgabenbezogen anhand der Größen zu beschreiben, die für die Reproduktionsleistung bedeutsam sind (ebd., 50). Für Wurfbewegungen können zur Beschreibung der Ausführung u.a. der Abwurfwinkel und die Abwurfgeschwindigkeit des Wurfobjektes, aber auch die Winkel-Zeit-Verläufe der zugrunde liegenden Wurfbewegung herangezogen werden.

Hier zeigen einige exemplarisch vorgestellte Untersuchungen

- für den Freiwurf im Basketball, dass Bundesligaspieler gegenüber Sportstudierenden eine geringere Variabilität in den Verläufen ihrer Körperkoordinaten und denen der Flugkurven des Balles (ebenfalls ein Indikator der Bewegungsausführung) aufweisen (MÜLLER 2000).
- für einen Boulewurf, dass Könner gegenüber Anfängern eine geringere Variabilität in den Flugkurven des Balles produzieren (REISER/MÜLLER/DAUGS 1997a).
- für eine virtuelle Pendelbewegung, dass das Rauschen in Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit, aber auch in den Winkel-Zeit-Verläufen im Verlaufe von Übung geringer wird (MÜLLER 2000).
- für einen virtuellen Dartwurf, dass sich mit zunehmender Übung das Rauschen in den Winkel-Zeit-Verläufen des Wurfarms verringert (REISER i.V.).

Diese Untersuchungen zeigen, dass Rauschen, zwar mehr oder weniger stark, aber auch immer in kinematischen Parametern anzutreffen ist. Betrachten wir nun, wie sich die Variabilität dieser Parameter infolge induzierter Belastungen verändert. Hierzu liegen jedoch nur wenige Untersuchungen vor, die dies explizit überprüfen.

WEINLAND (1927) untersuchte mit einem Ergographen die Variabilität des Bewegungsumfanges bei rhythmisch wiederholten Armbewegungen über vier Serien, wobei zusätzlich unterschiedliche Zusatzgewichte zwischen 5,44 kg und 13,60 kg appliziert wurden. Dabei fand er mit zunehmender Dauer der Bewegungsausführung, unabhängig von der Zusatzlast, eine höhere Variabilität im Bewegungsumfang. Er hebt deutlich heraus, dass „variability increases with fatigue“ (ebd., 12). Er gelangt aufgrund seiner Untersuchungen zu der Aussage, dass durch Ermüdung größere Variabilitäten hervorgerufen werden, als durch die anderen im

Experiment manipulierte unabhängigen Variablen (Pausendauer zwischen den Serien, Zusatzgewicht und Rhythmus). MANZER (1934) untersuchte ebenfalls mit einem Ergographen die Variabilität des Bewegungsumfangs bei rhythmisch wiederholten Beugebewegungen des Mittelfingers, wobei jeweils eine Zusatzlast von 4,54 kg appliziert wurde. Diese Bewegung sollte bis zum erschöpfungsbedingten Abbruch durchgeführt werden (jeweils 11 Blöcke mit jeweils fünf Minuten Pause zwischen den Blöcken). Er verglich dabei die ersten zehn Serien aus jedem Block (unermüdet) mit den letzten zehn Serien in jedem Block (ermüdet) und konnte feststellen, dass der Bewegungsumfang in ermüdetem Zustand im Mittel um 21 % geringer war. Die relative Variabilität um diesen Mittelwert, ausgedrückt als Variationskoeffizient, war in ermüdetem Zustand im Mittel um den Faktor 3 erhöht (309%). JARIC/BLESIC/MILANOVIC/RADOVANOVIC/LJUBISAVLJEVIC/ANASTASIJEVIC (1999) ließen Probanden abwechselnd insgesamt jeweils 12 Streckungen und 12 Beugungen im Ellenbogengelenk über 40° durchführen, wobei der Arm an einem Manipulandum so befestigt war, dass die Bewegung in der Horizontalebene durchgeführt wurde. Davor sollten die Vpn mit den Ellenbogenextensoren 60% der MVC möglichst konstant ansteuern. Wenn es Ihnen nicht mehr gelang, 30% der MVC zu bilden, wurde mit den Beuge- und Streckbewegungen begonnen, wobei die Vpn angewiesen wurden, die schnellstmögliche Bewegung durchzuführen. Durch die gewählte Ermüdungsinduzierung konnten sie prüfen, wie sich eine Belastung der Agonisten (bei der Streckbewegung) bzw. der Antagonisten (bei der Beugebewegung) auf kinematische Parameter auswirkt. Als wichtigstes Ergebnis fanden sie, dass die Streckbewegung infolge der Belastung die Zielposition unterschoss, wobei sich diese Differenz über die Versuche verringerte. Für die Beugebewegung fanden sich solche Effekte nicht. Bei dieser war hingegen ein kurzfristiges Überschießen der Endposition festzustellen (operationalisiert über Bewegungsamplitude und Endposition). Ihre Hypothese, dass muskuläre Ermüdung die Endposition bei schnellen, diskreten Bewegungen beeinflusst und dass dieser Effekt abhängig von der Muskelgruppe unterschiedlich sein kann, sehen sie damit als bestätigt an.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich Rauschen auch in kinematischen Bewegungsparametern zeigt und dabei von spezifischen Ausführungsbedingungen (z.B. Bewegungsumfang und Bewegungsdauer) abhängig ist. Zudem ist das Rauschen bei Könnern geringer als bei Anfängern und durch motorische Übung zu verringern. Bezüglich der Wirkung konditioneller Belastungen auf das Rauschen in diesen Parametern liegen jedoch leider wenige Untersuchungen vor, die allerdings allesamt eine Erhöhung des Rauschens infolge einer Belastung nachweisen. Jedoch muss auch an dieser Stelle ein Forschungsdefizit konstatiert werden.

4 Variabilität und Konstanz im Techniktraining und beim motorischen Lernen

Ein inhaltlicher Schwerpunkt dieser Arbeit ist das Erlernen einer Bewegung, insbesondere im Zustand konditioneller Belastungseffekte. Dieser Aspekt besitzt vor allem für das sportliche Techniktraining hohe Relevanz, was in Kapitel A5 ausführlich dargelegt wird. In den anschließenden Kapiteln wird zunächst aufgezeigt, inwiefern der Aspekt der Variabilität, sowohl hinsichtlich des Anpassungs-, als auch des Rauschanteils, für das Techniktraining und das intendierte motorische Lernen bedeutsam ist. Zunächst werden hierzu die beiden zentralen Begriffe „Techniktraining“ und „motorisches Lernen“ expliziert, um bestehende Gemeinsamkeiten aufzuzeigen und Unterschiede voneinander abzugrenzen.

4.1 Techniktraining und motorisches Lernen – Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Aus einer eher behavioristischen Sichtweise und unter Betonung des Konstruktcharakters des motorischen Lernens bei gleichzeitiger Angabe der Indikatorvariablen definiert MAGILL (1989) motorisches Lernen als

„a change in the capability of the individual to perform a skill that must be inferred from a relatively permanent improvement in performance as a result of practice or experience“ (ebd., 48; in ähnlichem Sinne SCHMIDT (1988, 346)).

Ist die im Rahmen eines motorischen Lernprozesses angesteuerte Fertigkeit eine sportliche Bewegungsfertigkeit, spricht man von *sportmotorischem Lernen*.

Der Begriff des „Techniktrainings“ wird von CARL/MECHLING (1992) definiert als

„*Trainingsart*, die auf den Erwerb oder die Veränderung einer *sportlichen Technik* ausgerichtet ist (*Lernen*). T[techniktraining ...] zielt schwerpunktmäßig auf die Optimierung der Informationsaufnahme- und Informationsverarbeitungsprozesse des Athleten ab, ist jedoch immer auch bezüglich der Wechselwirkungen zu den energetischen Prozessen zu betrachten“ (ebd., 506; Hervorhebung im Original).

In dieser Definition wird bereits explizit Lernen als Ziel des Techniktrainings herausgestellt. Bezogen auf eine sportliche Technik kann man einschränkend von sportmotorischem Lernen als Zielstellung sprechen. Für LETZELTER (1992, 475) ist „Techniktraining [...] zum größten Teil *motorisches Lernen*“ (ebd., Hervorhebung im Original), weshalb auch die Stadien und

Gesetzmäßigkeiten des motorischen Lernprozesses (vgl. z.B. SCHNABEL 1987b, 187ff.) innerhalb des Techniktrainings Geltung finden (im gleichen Sinne HOTZ 1994, 296). Hier ist jedoch kritisch anzumerken, dass bisher die Entwicklung einer eigenen „Theorie des Techniktrainings“ versäumt wurde, was eben darin begründet ist, dass „Theorien des Techniktrainings bisher zu stark an Theorien des motorischen Lernens angelehnt waren“ (MARTIN 1989, 13). Weiterhin liegen kaum wissenschaftliche Untersuchungen vor, die sich der Fragestellung resultierender psychophysischer Beanspruchungen durch Techniktraining sowie den Wechselwirkungen zwischen energetischen und informationellen Beanspruchungsprozessen widmen. Dieser Sachverhalt führt nicht nur zu einer beträchtlichen Unsicherheit in der Theoriebildung, sondern auch in der Praxis (vgl. NEUMAIER 1997, 216). Der Aussage von NEUMAIER/DE MARÉES/SEILER (1997), dass eine „allgemein anerkannte Theorie des Techniktrainings [...] bislang nicht vor[liegt]“ (ebd., 14), muss auch heute noch uneingeschränkt zugestimmt werden. Eine solche Theorie des Techniktrainings müsste Fragen zum motorischen Lernen ebenso einschließen wie Probleme vorhandener Belastungen und resultierender Beanspruchungen beim Erwerben und Anwenden sportlicher Techniken sowie deren wechselseitigen Zusammenhänge (vgl. NEUMAIER 1997, 176). Wie NEUMAIER weiter ausführt ist somit klar, dass

„ein umfassender, praxisorientierter trainingswissenschaftlicher Ansatz zum Techniktraining ein *integrativer Ansatz* sein muss, der problembezogen z.B. handlungs- und lernpsychologische, biomechanische und biologisch-physiologische Erkenntnisse aufarbeitet, sie um selbst erarbeitete Aussagen erweitert und zur Beantwortung bzw. Bearbeitung komplexer, praxisorientierter Fragestellungen verbindet“ (ebd., 176; Hervorhebung im Original).

Einen methodischen Unterschied zwischen Techniktraining und motorischem Lernen sehen MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 71) darin, dass beim motorischen Lernen das Üben und Informieren im Vordergrund stehen, die *Trainingsmethoden* allerdings „beruhen zusätzlich auf optimalen *Belastungen*“ (ebd.). Es muss aber vermerkt werden, dass die Methoden des Konditionstrainings vordringlich bzgl. der Belastungsgestaltung (Umfang, Intensität u.s.w.) auf das Techniktraining nur bedingt oder modifiziert anwendbar sind und nicht ohne weiteres übernommen werden können (vgl. NEUMAIER 1997, 216).

In eigenen Worten möchte ich die Ausführungen wie folgt kurz zusammenfassen: Die Zielstellung des Techniktrainings besteht in einem motorischen Lernprozess, der jedoch in die trainingspraktischen Bedingungen, wie z.B. auftretende Belastungseffekte, eingebunden sein muss. Dieser Aspekt beschäftigt uns allerdings ausführlicher in Kapitel A5.

4.2 Variabilität und Konstanz im Techniktraining:

Deskriptive Bewegungsbeschreibungen und normative Handlungsanleitungen

Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über die Aussagen der trainingswissenschaftlichen Literatur bzgl. der Deskription ausführungs- und ergebnisbezogener Parameter im Verlaufe des Techniktrainings (Wie variabel resp. konstant werden bestimmte Parameter reproduziert?) und bzgl. normativer Handlungsanleitungen für den Trainer (Wie variabel resp. konstant sollen Ausführungsbedingungen im Techniktraining gestaltet werden?) gegeben werden.

Bei SCHNABEL (1987b) findet man vorrangig den Hinweis, dass mit dem Erreichen des Stadiums der Grobkoordination die Bewegung fast immer gelingt, jedoch nur unter den „normalen, günstigen Bedingungen, die beim Erlernen neuer Bewegungen [...] konstant gehalten werden“ sollten (ebd., 189). Hier wird explizit auf konstante Ausführungsbedingungen Bezug genommen. Er stellt deutlich heraus, dass die „Grobkoordination [...] noch keine Anpassung des Bewegungsvollzuges an ungewohnte oder gar wechselnde Bedingungen“ gestattet (ebd.). Schließlich weist SCHNABEL (1987b) zusammenfassend darauf hin, dass die Grobkoordination durch eine „gering ausgeprägte *Bewegungspräzision* und *Bewegungskonstanz* im Bewegungsvollzug gekennzeichnet“ ist (ebd., 192; Hervorhebung im Original). Zudem schwanke die messbare Leistung, da im Stadium der Grobkoordination alle Bewegungsparameter und Verlaufskurven streuen (ebd.). Da explizit auf konstante Ausführungsbedingungen hingewiesen wird, ist der beschriebene Variabilitätsanteil zum größten Teil als Rauschen zu klassifizieren. Im folgenden Stadium der Entwicklung der Feinkoordination wird laut SCHNABEL (1987b) „die Aufgabe unter den gewohnten, günstigen Übungsbedingungen ohne störende Einflüsse [...] erfüllt“ (ebd., 200). Unter diesen Bedingungen seien auch „bereits höhere Leistungen und eine relativ hohe Beständigkeit möglich“ (ebd.), d.h. das Rauschen wird reduziert. Bei ungewohnten und ungünstigen Störeinflüssen aus dem äußeren und inneren Milieu ist jedoch aufgrund sich wieder einstellender Fehler in der Bewegungsausführung mit einer schwächeren und instabilen Leistung zu rechnen (ebd.). Explizit weist SCHNABEL (1987b) darauf hin, dass unter den „bekannten, günstigen und konstanten Bedingungen“ (ebd., 204) der Bewegungsablauf „durch eine hohe Präzision und Konstanz gekennzeichnet“ ist (ebd.). Bezüglich des Aspektes der Bewegungspräzision führt SCHNABEL eine Charakteristik für deren Entwicklung im motorischen Lernprozess an: demnach wird zuerst eine erhöhte räumliche Genauigkeit im Bewegungsablauf erreicht, anschließend gelingt ein aufgabengemäßerer zeitlicher Verlauf, allerdings relativ spät erst die Präzision im

dynamischen Verlauf (ebd., 204f.). Einschränkend wird bezüglich dieser hohen Genauigkeitsleistungen vermerkt, dass sie in der Regel nur erreicht werden, „wenn keine besonderen Anforderungen an die Handlungsschnelligkeit vorliegen“ (ebd., 205). Im Hinblick auf die Bewegungskonstanz wird festgestellt, dass in diesem Lernstadium zwar ebenfalls nicht ein Versuch dem anderen völlig gleicht und dies „auch nicht bei konstanten Bedingungen“ (ebd.), allerdings ist der „Grad der Übereinstimmung [...] im Vergleich zur Kompliziertheit der sportlichen Bewegungstechnik sehr hoch“ (ebd.). Abschließend wird jedoch darauf hingewiesen, dass sich eine geringfügige Änderung der Bedingungen sofort „in der Bewegungspräzision und damit auch in einer bedeutend geringeren Konstanz“ widerspiegelt (ebd.).

Zuletzt wird an dieser Stelle die Frage aufgeworfen, wann und in welchem Maße auch unter variierten Bedingungen geübt werden soll. Dies wird dahingehend beantwortet, dass in den technisch-kompositorischen Sportarten zunächst die Feinkoordination erarbeitet wird, bevor unter wechselnden Bedingungen geübt wird. In Sportarten hingegen, die eine sehr große Variations- und Anpassungsbreite von der ausgebildeten Fertigkeit fordern (dies ist vorrangig in den Spiel- und Zweikampfsportarten der Fall), ist die Feinkoordination nicht ausschließlich unter Standardbedingungen auszubilden. Dies betrifft den Anpassungsanteil der Variabilität. Es soll demnach in der Phase der Feinkoordination einerseits auf eine Stabilisierung der Feinkoordination hingearbeitet werden, andererseits ist eine Belastung des Lernenden durch wechselnde Ausführungsbedingungen unbedingt zu vermeiden, da hierdurch Fehler gefestigt werden können (ebd., 217). Das Ziel der dritten Lernphase liegt in der Stabilisierung der Feinkoordination und der Entwicklung der variablen Verfügbarkeit. Der Lernende kann am Ende dieses Stadiums die Bewegung „auch unter schwierigen und ungewohnten Bedingungen sicher ausführen“ (ebd.). Dies ist eine wichtige Voraussetzung zur Zielerreichung eines jeglichen motorischen Lernprozesses, nämlich der praktischen Anwendung der motorischen Fertigkeit (vgl. ebd.). Die praktische Anwendung erfordert notwendigerweise eine Anpassung an verschiedene, zuweilen schnell wechselnde Bedingungen und damit verbunden die Kompensation von Störungen (vgl. ebd.). Dies betrifft vorrangig den Anpassungsanteil der Variabilität.

Der Grad der erreichten Stabilität im Stadium der stabilisierten Feinkoordination zeigt sich nach SCHNABEL (1987b, 219) (a) in dem Merkmal der Bewegungspräzision, konkret in einer hohen Zielgenauigkeit, (b) in einer hohen Ergebnispräzision und (c) in einer hohen Bewegungskonstanz sowohl in zeitlicher, als auch in räumlicher Hinsicht. SCHNABEL stellt in diesem Zusammenhang sehr deutlich heraus, dass die entscheidenden Charakteristika „die hohe Genauigkeit und Konstanz im *Leistungsergebnis*“ sind (ebd., 220; Hervorhebung im

Original), welche oftmals eine Veränderung der Bewegungskoordination erfordern, die „in einer bestimmten Variabilität einzelner Bewegungsparameter und -merkmale zum Ausdruck kommt“ (ebd.):

„Was durch die stabile Feinkoordination annähernd konstant, „stabil“ gehalten wird, ist die zweckmäßige Lösung der motorischen Aufgabe als Ergebnis des Bewegungsvollzugs; die Einzelheiten der Verwirklichung dieses Ergebnisses, die Feinheiten des Bewegungsverlaufes und der sensomotorischen Steuerung, bleiben dagegen plastisch und passen sich den jeweiligen Bedingungen an. [...] Primär ist die Stabilisierung im Ergebnis, in der Erfüllung des Zweckes der Handlung. Eine höhere Konstanz in der Bewegungsform, in einzelnen Kennlinien und Parametern sowie auch in Teilprozessen der Bewegungssteuerung ist dem untergeordnet, ist sekundär und in bestimmtem Maße von konstanten Bedingungen abhängig“ (SCHNABEL 1987b, 221).

Die in diesem Falle anzutreffende Variabilität ist hauptsächlich als Anpassung einzuordnen. Hierdurch wird gerade das angestrebte Bewegungsziel trotz unterschiedlicher Ausführungsbedingungen erreicht. Man kann dies kurzfassen als „Ergebniskonstanz durch Ausführungsvariabilität“. Gerade in den Sportspielen und den Zweikampfsportarten ist die Anpassung und die motorische Kompensation am stärksten ausgeprägt, wie SCHNABEL feststellt (1987b, 220). Dies ist meiner Ansicht nach nicht verwunderlich, besitzt das motorische System doch gerade in diesen Fällen eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden, nicht nur auf der Ebene der Bewegungstechnik, sondern auch auf der Ebene der taktischen Fähigkeiten, die genutzt werden können, um das Erreichen des Bewegungszieles bzw. der übergeordneten Zielstellung sicherzustellen.

Für das Erlernen einer sportlichen Technik spricht SCHNABEL (1986) nur implizit das Vorhandensein stabiler Ausführungsbedingungen an, wenn er darauf hinweist, dass die „zu erlernende Bewegungshandlung [...] unter günstigen Bedingungen relativ sicher ausgeführt werden“ kann (ebd., 210). Bei ungünstigen Ausführungsbedingungen hingegen (z.B. geringe Konzentration, kleinere Störungen) „treten noch häufig Fehlversuche und grobe Technikfehler auf“ (ebd.). Für die Phase der Vervollkommnung sporttechnischer Fertigkeiten wird das systematisch erarbeitende Üben nach dem Prinzip „Wiederholen ohne Wiederholung“ (ebd., 211) als Hauptprinzip genannt. Die Stabilisierung der Bewegungsfertigkeit schließlich hat in zwei Hauptrichtungen zu erfolgen: (a) die Standardisierung der wichtigsten Bewegungsparameter und (b) die Erweiterung der beherrschten Variationsmöglichkeiten. Als interessant ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass gerade die Erweiterung der Variationsmöglichkeiten als Maßnahme zur Stabilisierung der Technik angeführt wird. Unter einer stabilen Technik ist also eine solche zu verstehen, die trotz variabler externer (z.B.

veränderter Untergrund, Gegnereinwirkung, u.s.w.) oder variabler interner Ausführungsbedingungen (z.B. Belastungseffekte) zur gewünschten Zielerreichung führt. Die Bewegungsausführung kann und wird in diesem Falle sogar variieren. Zur Erweiterung der Variationsmöglichkeiten werden verschiedene Variationsanforderungen gestellt (vgl. ebd., 214). Dazu gehören eine bewusste Variation der Bewegungsausführung, die Verbindung der Bewegungshandlung mit Zusatzanforderungen (dies betrifft den Aspekt der Automatisierung von Bewegungen, die sich gerade in einer Abwesenheit von „Doppelaufgaben-Interferenzen“ zeigt), und die Veränderung von Umweltbedingungen (z.B. Geräte, Wetter). Diese Variationsmöglichkeiten der gestellten Bewegungsaufgabe sollen zu einer situationsgerechten, angepassten Anwendung der Bewegungstechnik führen. Allerdings wird hier explizit darauf hingewiesen, dass die Anforderungen nur so weit erschwert werden dürfen, dass „die Aufgabe noch effektiv gelöst werden kann und die entscheidenden Parameter nicht wesentlich beeinträchtigt werden“ (ebd.).

Aus einer Analyse der sporttechnischen Entwicklung gelangt SCHNABEL (1994) zu einer wesentlichen Folgerung für das Techniktraining, die in einer Berücksichtigung invarianter und varianter Technikelemente besteht. Er sieht die Bedeutung der Technikoptimierung darin, „das Ergebnis stabil zu machen durch Festigung entscheidender Invarianten (führender Elemente), durch Überlernen und durch variables Verfügbarmachen der übrigen Anteile“ (ebd., 136). Auch an dieser Stelle unterscheidet er die drei Lernstufen des Erlernens, des Vervollkommnens und des Stabilisierens einer sportlichen Technik, wobei darauf hingewiesen wird, dass die Grenzen fließend sind. Als trainingsmethodischen Akzent der 1./2. Lernstufe (so die Bezeichnung) ist für unsere Analyse vornehmlich herauszustellen, dass gefordert wird, die „Bewegungs- und Lösungsformen immer wieder selbstbestimmt [zu] variieren“ (ebd., 297). Die methodischen Akzente der 2./3. Lernstufe subsumiert SCHNABEL unter dem Leitthema „Stabilität durch Flexibilität“ (ebd.). In dieser Phase soll die Realisierung der Bewegungstechnik unter „individuell gezielt veränderten, variierten und zunehmend durch Zusatzaufgaben ergänzten [...] und erschwerten Lernbedingungen stattfinden“ (ebd.).

Nach GROSSER/NEUMAIER (1982) zeigt die Technik des Anfängers sowohl eine geringe oder schwankende Bewegungsgenauigkeit, wie auch eine geringe Bewegungskonstanz (vgl. ebd., 91). Die von den Autoren aufgeführten qualitativen und quantitativen Bewegungsmerkmale streuen auf dieser Könnensstufe noch stark, woraus auch starke Schwankungen in der sportlichen Leistung, d.h. in der Ergebnisdimension, resultieren (vgl. ebd.). Diese Phänomene sind vornehmlich auf den Rauschanteil der Variabilität zurückzuführen. Die Bewegungsmerkmale sind im Fortgeschrittenen-Stadium hingegen bereits voll ausgeprägt (vgl.

ebd., 105). Im Könnensstadium werden explizit als Indikatoren der erreichten Stabilität in der Technik die hohe Bewegungsgenauigkeit und die Bewegungskonstanz angeführt (vgl. ebd., 108), wobei beide Begriffsintensionen bei GROSSER/NEUMAIER (1982) sowohl Ergebnis-, als auch Ausführungsdimension umfassen.

Eine etwas andere Unterteilung des Techniktrainings nehmen MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993) vor, die Technikerwerbstraining, Technikanwendungstraining und technisches Ergänzungstraining unterscheiden (vgl. ebd., 49ff). Das Technikanwendungstraining steuert die automatisierte Beherrschung von solchen sportmotorischen Fertigkeiten an, „die sich durch einen hohen Grad an ‘Stabilität’ auszeichnen müssen, d.h. durch eine stabile Unveränderbarkeit der Durchsetzung dieser Fertigkeiten auch unter den Bedingungen innerer und äußerer Veränderungen“ (ebd., 51). Sie leiten hieraus, vor dem Hintergrund ihrer neurophysiologischen engrambasierten Erklärung des Bewegungslernens, zwei zu gewährleistende trainingsmethodische Prinzipien ab:

1. Das Technikerwerbstraining muss immer unter optimalen, nicht störungsanfälligen, möglichst standardisierten Bedingungen durchgeführt werden⁴.
2. Das kontinuierliche Überlernen, da der Einschleifprozess der Fertigkeiten immer hohe Wiederholungszahlen erfordert⁵.

Im Technikanwendungstraining werden die entsprechenden Fertigkeiten unter „möglichst vielseitig gestalteten variablen und wettkampfspezifischen Bedingungen einer Sportart trainiert“. (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 52; Hervorhebung im Original). Trainingsmethodisch muss hierbei die Frage beantwortet werden, wie die Anwendung der jeweiligen Technik unter der Variabilität sportartspezifischer sowohl interner (z.B. Veränderung des muskulären Laktatwerts während einer bestimmten Belastung), als auch externer Ausführungsbedingungen (z.B. veränderte Seitenwinde beim Skispringen) trainiert werden soll, wie die Technik also variabel verfügbar gemacht werden kann. Da laut MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 53) die Qualität der variablen Verfügbarkeit von Fertigkeiten auch von der Stabilität der zugrundeliegenden Programme abhängig ist, muss das Technikanwendungstraining die Ziele verfolgen (a) in

⁴MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993, 51) merken an, dass es bei wiederholt ausgeführten Bewegungen immer Minimalabweichungen geben wird. Ziel aber ist es, diese Abweichungen möglichst gering zu halten, was nur unter relativ standardisierten Trainingsbedingungen gelinge.

⁵An dieser Stelle wird angemerkt, dass es beim Überlernen auch darum geht, eine permanente Integration der sich nahezu ständig verändernden konditionell-energetischen Bedingungen in die Präprogrammierung von Fertigkeiten zu erreichen (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 52).

variablen Situationen optimale technische Lösungen antizipieren zu können und (b) auch unter schwierigen Bedingungen die Technik durchsetzen zu können (vgl. ebd.).

An dieser Stelle möchte ich aus der Analyse der angeführten Literatur die Hauptaussagen der Trainingslehre wie folgt zusammenfassen: Die Ausführungsbedingungen – im Falle des Techniktrainings ist an dieser Stelle auch der Begriff „Übungsbedingungen“ angebracht – sollen in der ersten Lernphase konstant gehalten werden. Dennoch findet sich am Anfang eine höhere Variabilität in ergebnis- und ausführungsbezogenen Parametern, die unter den konstanten Übungsbedingungen als rauschbedingt anzusehen sind. Im weiteren Lernverlauf nimmt das Rauschen in ergebnis- und ausführungsbezogenen Parametern unter günstigen Ausführungsbedingungen ab. Erhebliche Störungen externer Art führen jedoch wieder zu einer Steigerung des Rauschens. In der letzten Lernphase soll gerade unter variierenden Ausführungsbedingungen geübt werden. Hier ist in der Bewegungsausführung wieder eine erhöhte Variabilität festzustellen, die allerdings vorrangig als Anpassung an die wechselnden Ausführungsbedingungen zu verstehen ist. Über diese soll gerade das konstante Bewegungsergebnis wieder erreicht werden.

4.3 Variabilität und Konstanz beim motorischen Lernen

Ansätze zum motorischen Lernen sind in der Mehrzahl der Fälle Theorien der Bewegungskoordination, die um den Veränderungsaspekt erweitert sind. Der motor-approach – z.B. SCHMIDTs Schema-Theorie (1975), ADAMS' closed-loop-Theorie (1971) – erlaubt die Ableitung empirisch überprüfbarer Hypothesen aus seinen Konstrukten und kann auch Aussagen über die Auswahl der Programme treffen (z.B. ROTH 1989), nicht aber über deren Erwerb. Auch das Speicherplatz-Dilemma scheint nicht gelöst. KÜNZELL (1996, 33) vertritt die Auffassung, bei Forschern aus der Richtung des action-approaches werde motorisches Lernen nicht thematisiert, da es mit der Annahme zentraler Repräsentationen zusammenhänge, die von diesen Vertretern verneint würden. Dieser pauschalen Formulierung schließe ich mich nicht an, obgleich sie für den überwiegenden Teil der Arbeiten aus dieser Forschungsrichtung zutrifft. An dieser Stelle soll jedoch nicht erneut die Diskussion zwischen motor- und action-approach aufgerollt werden (vgl. dazu DAUGS 1994; MEIJER/ROTH 1988), zumal sich die Unvereinbarkeit beider Ansätze bezogen auf das hier zu diskutierende Problem aufhebt (vgl. dazu ausführlicher MÜLLER 2000). Auch aktuelle Theorien zum motorischen Lernen aus dem Bereich der *Synergetik* (im Überblick JANSSEN/CARL/SCHLICHT/WILHELM 1996), des *Konnektionismus* (ausführlich KÜNZELL 1996) und der *Neuropsychologie* (vgl. z.B. WILLINGHAM 1998) sollen an dieser Stelle nicht weiter bzgl. möglicher Anknüpfungspunkte zu Variabilität und Konstanz im

motorischen Verhalten bzw. in der Lernumgebung diskutiert werden, da ich mich in dieser Untersuchung nicht an eine Lerntheorie anlehne, sondern mit einer theorie-neutralen Begrifflichkeit operiere. Dennoch soll es mir an dieser Stelle erlaubt sein, exemplarisch die Schema-Theorie von SCHMIDT (1975) bzgl. solcher Anknüpfungspunkte zu diskutieren. Dies zum Einen, da sie für diskrete, ballistische Bewegungen, wie sie eine Wurfbewegung darstellt, Erklärungswert beansprucht. Zum Anderen, weil die aus ihr abgeleitete variability-of-practice-Hypothese ein variables Üben der Bewegungsfertigkeit fordert, um eine bessere Transferleistung zu erreichen.

Exkurs: Die Schema-Theorie

Die Schema-Theorie (vgl. SCHMIDT 1975) erhebt den Anspruch, Erklärungswert für sehr kurze, diskrete Aufgaben zu besitzen. Im Mittelpunkt der Schema-Theorie steht SCHMIDTs Theorie „Generalisierter Motorischer Programme“ (GMP-Theorie; vgl. SCHMIDT 1988; SCHMIDT/LEE 1999), für die die Impuls-Timing-Hypothese (vgl. SCHMIDT 1988, 242ff.) eine wichtige Grundlage ist. Gemäß dieser Hypothese kontrolliert das motorische Programm Kraftstöße. Dies geschieht über Nervenimpulse, die vom motorischen Programm in die entsprechende Muskulatur gesendet werden. Basierend auf dieser Impuls-Timing-Sicht besitzt das GMP bestimmte *invariante*, also konstante Merkmale. Es sind dies die „order of events“ (auch sequencing genannt), das „relative timing“ (auch phasing genannt) und die „relative force“. Spezifiziert wird das GMP für die aktuelle Bewegungsausführung durch die Eingabe bestimmter *variabler* Programm-Parameter, welche bewirken, dass die Impuls-timing-Muster innerhalb gewisser Grenzen proportional gedehnt oder gestaucht werden, ohne dass dadurch die charakteristischen Strukturelemente des zugrundeliegenden Impuls-timing-Musters verloren gehen (Gestalt-Konstanz-Hypothese). Zu diesen Programm-Parametern zählen der „Overall-Duration-Parameter“ (Gesamtbewegungszeit), der „Overall-Force-Parameter“ (Gesamtkrafteinsatz) und der „Muscle-Selection-Parameter“ (Muskelauswahl).

Die Schema-Theorie propagiert zwei Gedächtnisinstanzen: Das Recall-Schema (Abruf- und Wiedergabeschema) und das Recognition-Schema (Wiedererkennungsschema). Der Aufbau dieser Schemata erfolgt durch Abstraktion der Information über die Beziehung von vier Informationsquellen, die nach einer Bewegungsausführung zusammen gespeichert werden. Die vier Informationsquellen sind (vgl. SCHMIDT 1975, 235):

- a) die Ausgangsbedingungen (initial conditions),
- b) die gewählten Parameter-Werte (response specifications),

- c) das sensorische Feedback über die Bewegungsausführung (sensory consequences) und
- d) die Informationen über das Bewegungsergebnis (response outcome).

Das Recall-Schema ist für die Bewegungsinitiierung, die Auswahlprozesse spezifischer Parameter-Werte für das motorische Programm und die Steuerung schneller Bewegungen (≤ 200 msec) zuständig. Das Recognition-Schema ist in erster Linie für die Regelung langsamer Bewegungen (wie z.B. Positionierungsaufgaben) verantwortlich, indem entlang der Bewegungsbahn das sensorische Feedback mit den erwarteten sensorischen Konsequenzen verglichen und die Bewegung solange durchgeführt wird, bis die Differenz dieses Vergleiches im Zielpunkt der Bewegung schließlich Null ist.

Bezogen auf einen Teil der Fragestellung in dieser Arbeit, lokalisieren SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN (1979) vor dem Hintergrund der GMP-Theorie drei Orte, an denen Variabilität in das motorische System induziert werden kann (vgl. ebd., 430):

- Bei der Programm Auswahl: Dies wäre z.B. der Fall, wenn im Fußball das Programm für einen Innenseitstoss ausgewählt wird, um einem Mitspieler zuzupassen, die Situation allerdings einen Vollspannstoß erfordert (Torschuss).
- Bei der Auswahl der Programm-Parameter: Dies könnte dann der Fall sein, wenn im Fußball das Programm für einen Innenseitstoss korrekt ausgewählt wurde, der Parameter „Gesamtkrafteinsatz“ aber nicht adäquat angepasst wurde, so dass der geplante Pass zum Mitspieler auf halbem Wege „verhungert“.
- Auf den nachgeschalteten Wegen: Diese Variabilität wird als zufällig (im hier verwendeten Sinne als Rauschen) im neuromuskulären System angesehen. Wenn der Fußballspieler zwar korrekterweise einen Pass zum Mitspieler auswählt und den Gesamtkrafteinsatz den vorliegenden Bedingungen anpasst, der Ball jedoch den Mitspieler trotzdem nicht erreicht, dann ist dies auf Fluktuationen in der Peripherie zurückzuführen: Die zentralen Vorgaben werden nicht korrekt umgesetzt.

Auch bzgl. der Frage nach den Effekten von Ermüdung auf die motorische Ausführungsleistung und das motorische Lernen bietet die Schema-Theorie einen Zugangspunkt über die Ausgangsbedingungen. Wie sich zeigt, ist ein ermüdeter Muskel gegenüber einem unermüdeten durch einen veränderten Funktionszustand gekennzeichnet (vgl. dazu im Überblick OLIVIER 1996a). Die Ausgangsbedingungen müssten dann um den aktuellen neuromuskulären Funktionszustand ergänzt werden (vgl. OLIVIER 1996a, 32), um auch unter

Belastungseffekten eine bewegungsziel-adäquate Parametrisierung sicherzustellen. Dies würde jedoch nichts an dem auf nachgelagerten Wegen vorhandenen Rauschen ändern.

Nachdem nun die Schema- und die mit ihr verknüpfte GMP-Theorie erläutert wurden, kann eine wesentliche Vorhersage vorgestellt werden, die aus der Schema-Theorie abgeleitet werden kann. Diese besagt, dass Personen eine Bewegung aus einer bestimmten Bewegungsklasse ausführen können, die sie nie zuvor realisiert haben. Als Beispiel führt SCHMIDT (1975, 245) einen Basketballspieler an, der von verschiedenen Raumpunkten aus mit hoher Präzision wirft. Diese aus der Schema-Theorie abgeleitete, sogenannte *variability-of-practice-Hypothese* besagt, um mit SCHMIDT selbst zu sprechen:

„One important prediction is that increasing either the amount or the variability of such previous experiences lead to increased schema strength“ (SCHMIDT 1975, 245).

Die *variability-of-practice-Hypothese* (vgl. auch MOXLEY 1979; SCHMIDT 1988; SCHMIDT/LEE 1999) sagt voraus, dass bei einem gleichen motorischen Grundprogramm, welches jedoch mit variablen Parameterspezifikationen ausgeführt wird und daher zu unterschiedlichen Ergebnissen führt, eine präzisere Parameter-Resultat-Beziehung aufgebaut werden kann, als bei nur gering variabler Parameter-Auswahl und entsprechend wenig variablem Bewegungsergebnis. Ebenso sollte auch das Üben mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen zu einer Verstärkung der Schema-Regel für diese Ausgangsbedingungen führen. Vor diesem Hintergrund könnte die Frage gestellt werden, ob der Übungsprozess über entsprechende Instruktionen variabel gestaltet werden soll, z.B. über eine andere Aufgabenstellung (dies würde sich auf den Anpassungs-Anteil der Variabilität beziehen), oder ob möglicherweise bereits die vorhandene Variabilität in der Bewegungsausführung, die nicht auf Anpassungseffekte zurückgeführt werden kann, also Rauschen, zu einer gleichen Verstärkung der Schema-Regel führt. So sieht WIEMEYER (1992) die Ableitung der *variability-of-practice-Hypothese* aus der Schema-Theorie nicht ohne weitere Zusatzannahmen als gerechtfertigt an, wenn er fragt, mit welcher Begründung

„sich eine Schema-Regel effektiver und schneller herausbilden [sollte], wenn die auszuführende Bewegung, die im Anfangsstadium bereits eine „natürliche“ Variabilität aufweist [...], durch externe Vorgaben noch variabler gestaltet wird“ (WIEMEYER 1992, 8)?

Als mögliche Zusatzannahmen, die die *variability-of-practice-Hypothese* gerechtfertigt erscheinen lassen, führt WIEMEYER (1992, 8) exemplarisch an, dass a) die Art der Verteilung der einzelnen Parameter-Werte unterschiedlich ist, dass b) natürliche Variabilität immer als

Fehlervarianz aufzufassen ist (Rauschen in dem hier verwendeten Begriffsinventar) oder auch dass c) die Schema-Bildung eine gewisse „Bandbreite“ an Erfahrung voraussetzt.

Empirische Befunde für die Kriteriumsaufgaben-Klasse „Trefferorientierte Wurfbewegungen“ zeigen besonders bei Kindern tendenzielle bis klare Vorteile variabler Übungsbedingungen (vgl. z.B. CARSON/WIEGAND 1979; CLIFTON 1985; KERR/BOOTH 1978; KERR/BOOTH 1980; MOXLEY 1979; PIGOTT/SHAPIRO 1984; WULF 1988; vgl. im Überblick WIEMEYER 1992). Hierbei wurden die variablen Übungsbedingungen entweder über eine Veränderung des Gewichts des Wurfobjektes oder über eine Veränderung der Zielentfernung erreicht, das bedeutet über eine Veränderung der Ausführungsbedingungen, die meiner Ansicht nach einer anderen Klasse zuzuordnen sind, weshalb bezogen auf die Definition der Bewegungsaufgabe in dieser Arbeit (vgl. Kapitel A3.1) im vorliegenden Fall von unterschiedlichen Bewegungsaufgaben gesprochen werden kann. In den zitierten Untersuchungen zeigt sich in einem Transfertest, zu dem eine bestimmte Bewegungsaufgabe auszuführen ist, der Vorteil meist in einer verbesserten Genauigkeit, mit der der Sollwert erreicht wird, in einigen Untersuchungen auch in einer verbesserten Konstanz dieses Ergebnisses. Die zu diesem Zeitpunkt festzustellende verringerte Variabilität im Bewegungsergebnis sollte dann hauptsächlich auf eine Reduktion des Rauschen zurückzuführen sein.

Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Schema-Theorie für die zu bearbeitende Fragestellung sowohl Anknüpfungspunkte hinsichtlich des Variabilitätsaspektes, als auch bzgl. der Berücksichtigung der durch konditionelle Belastungen verursachten Belastungseffekte bietet. Zudem liegen gerade für die Kriteriumsaufgabe „Trefferorientierte Wurfbewegungen“ eine Reihe von empirischen Befunden vor, die den Vorteil variabler Übungsbedingungen auch für eine Reduktion des Rauschens nachweisen. Dennoch möchte ich an dieser Stelle betonen, dass ich beim weiteren Vorgehen an der theorie-neutralen Begrifflichkeit festhalten und damit auch die experimentelle Bearbeitung nicht auf eine spezielle Lerntheorie ausrichten werde.

5 Techniktraining und motorisches Lernen unter konditioneller Belastung

Wie bereits im einleitenden Abschnitt von Kapitel A4 erläutert, ist ein Schwerpunkt dieser Arbeit das Erlernen einer Bewegung unter konditionellen Belastungseffekten. An dieser Stelle soll aufgezeigt werden, dass dieser Aspekt gerade für das Techniktraining hohe Relevanz besitzt, das zumeist unter Effekten vorangegangener Belastungen stattfindet. Es ist festzustellen, dass die meisten Arbeiten aus der motorikwissenschaftlichen Forschungsrichtung, die den Einfluss konditioneller Belastungen auf das Bewegungslernen untersuchen, mit Kriteriumsbewegungen arbeiten, die in der Mehrzahl der Fälle keine sportlichen Techniken darstellen. Aber selbst Forschungsarbeiten zum sportmotorischen Lernen lösen die sportmotorischen „Lernprozesse aus den für sie typischen Trainingsbedingungen heraus“ (OLIVIER 1996a, 14). OLIVIER (ebd.) sieht daher den Einfluss von konditionellen Belastungen auf das Bewegungslernen als eher das Techniktraining betreffend an (Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Techniktraining und motorischem Lernen wurden in Kapitel A4.1 bereits ausführlich erläutert). Es sollen im Folgenden zunächst die Aussagen der Traininglehre zur Platzierung von Konditions- und Techniktraining (Kapitel A5.1) vorgestellt werden, bevor Befunde zum Einfluss von „Ermüdung“ auf die motorische Ausführungsleistung und das motorische Lernen diskutiert werden (Kapitel A5.2).

5.1 *Zur zeitlichen Platzierung von Konditionstraining und Techniktraining innerhalb einer Trainingseinheit*

Nach gängiger trainingswissenschaftlicher Lehrmeinung soll das Techniktraining dem Konditionstraining zeitlich vorangehen, da durch dieses negative Effekte auf das Techniktraining erwartet werden (vgl. z.B. GROSSER/NEUMAIER 1982; HAMPE 1994; HEBESTREIT 1986; LETZELTER 1987; MATWEJEW 1981). Diese Lehrmeinung bezieht sich sowohl auf die Aufeinanderfolge innerhalb eines Mikrozyklus (Planungszeitraum von etwa einer Woche), als auch auf die Abfolge innerhalb einer einzelnen Trainingseinheit. Als Hauptgrund für diese trainingsorganisatorische Handlungsregel wird zumeist einsetzende Ermüdung angeführt, welche aufgrund der mit ihr einhergehenden mangelnden Konzentrationsfähigkeit keine optimale Koordination gestattet. Es muss daher mit einer verminderten Aneignungsleistung gerechnet werden. Hieraus kann jedoch nicht logisch-zwingend auf eine verminderte Lernleistung geschlossen werden. Genau das wird aber in Standard-Lehrbüchern der

Trainingslehre praktiziert: eine mehr oder weniger begründete Hypothese wird seit Jahrzehnten als bewährt tradiert, ohne dass sie jemals einer empirischen Überprüfung unterzogen wurde. Erste laborexperimentelle empirische Prüfungen durch OLIVIER (1996a), sowie feldexperimentell durch DILLINGER (1997) falsifizieren sie. Es wird daher weniger über *trainingswissenschaftliche* Positionen zur zeitlichen Einordnung dieser beiden Trainingsinhalte gesprochen, als vielmehr über Positionen der traditionellen Trainings*lehre* bzgl. dieser Thematik und ihrer angeführten Begründungen diesbezüglich. Da eine ausführliche Analyse der Literatur bereits an entsprechender Stelle erfolgte (vgl. DILLINGER 1997, OLIVIER 1996a), genügt hier eine kurze Zusammenfassung.

Zunächst ist nicht von der Hand zu weisen, dass Techniktraining immer unter dem Einfluss konditioneller Belastungen steht, durch diese sogar positive Effekte auf das Techniktraining erwartet werden (z.B. Erwärmung, siehe Abbildung 1; vgl. OLIVIER 1996a, 14). Als solche positiven intendierten Effekte in Folge von Aufwärmmaßnahmen werden im Bereich des für das Techniktraining vorrangig relevanten neuronalen Systems beispielsweise ein schnellerer Ablauf neuronaler Vorgänge (Wahrnehmungs- und Weiterleitungsgeschwindigkeit), eine Erhöhung der Reaktionsfähigkeit und eine Reaktivierung des Lernsystems genannt (vgl. FREIWALD 1991, 42). So findet sich auch bei MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993), als ein Prinzip zur inhaltlich-methodischen Gestaltung des Trainings, das Prinzip der optimalen psychophysischen Aktivierung, demzufolge vor allem beim Koordinations- und Techniktraining auf einen optimalen psychophysischen Aktivierungszustand des Sportlers geachtet werden sollte (ebd., 41). Wie dieser jedoch für den Trainer zu operationalisieren ist, wird leider nicht angeführt. Als ein Faktor, der gerade Genauigkeitsleistungen negativ beeinflussen könnte, nennt FIEDLER (1963, 58)

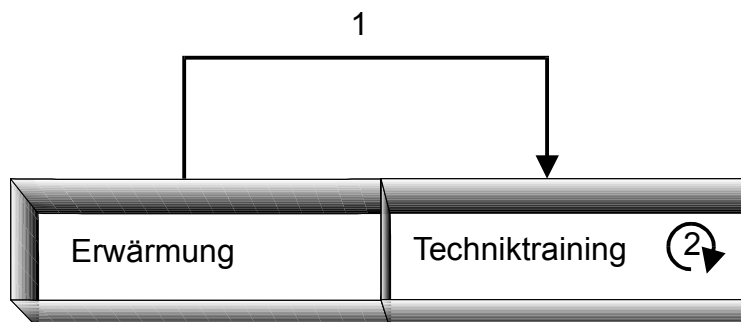


Abbildung 1: Struktur konditioneller Belastungseinflüsse auf das Techniktraining (modif. nach OLIVIER 1996a, 15).
 1: Belastungen in derselben Trainingseinheit durch vorangegangene Trainingsinhalte; 2: Belastungen, die durch das Techniktraining selbst induziert werden.

explizit eine ungenügende Erwärmung.

Die Aussagen zu diesem Themenfeld in Lehrbüchern der Trainingslehre lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- SCHNABEL (1986) fordert beim *Erlernen* einer sporttechnischen Fertigkeit einen Zustand körperlicher und geistiger Frische, außerdem eine derartige Gestaltung des *Vervollkommnungs*prozesses, dass keine Ermüdung eintritt und Konzentration und Aufmerksamkeit erhalten bleiben. Für das *Stabilisieren* einer sporttechnischen Fertigkeit wird jedoch das „Üben nach stärkerer, ermüdender konditioneller Belastung“ gefordert (ebd., 215; im gleichen Sinne siehe auch SCHNABEL 1987b).
- Das Erlernen und Vervollkommen sportlicher Techniken sollte laut HAMPE (1994) am Anfang des Hauptteils einer Trainingseinheit stehen, da dies Aufgaben sind, die „eine hohe Konzentration erfordern bzw. eine hohe Erregbarkeit des Nervensystems und körperliche Frische voraussetzen“ (ebd., 432)⁶.
- Auch SCHARSCHMIDT (1980, 239) spricht von einem erschwerten Erlernen neuer Bewegungsfertigkeiten in ermüdetem Zustand.
- Nach GROSSER/NEUMAIER (1982) „*müssen* Technischulungen (Bewegungslernen) stets vor Kondition [...] durchgeführt werden“ (ebd., 16; Hervorhebungen im Original)⁷, allerdings werden auch im sogenannten „Stresstraining“ unter Ermüdungsbedingungen Technikformen trainiert. Für ein frühes Gelingen der Bewegungsaufgabe im Anfängerstadium sollte der Sportler „*physisch und psychisch frisch*, also ohne Ermüdungserscheinungen, aber *gut aufgewärmt* sein“ (ebd., 93).
- Auch nach LETZELTER (1987) erlaubt Techniktraining keine vorherige Ermüdung, „da nur in ausgeruhtem Zustand das optimale Zusammenspiel der einzelnen Muskelgruppen im Sinne der intra- und intermuskulären Koordination möglich ist“ und daher „Techniktraining nur im Zustand höchster Konzentrationsfähigkeit gewinnbringend durchgeführt werden kann“ (ebd. 73).

⁶ Dem muss entgegengehalten werden, dass gerade vorangeschaltete konditionelle Belastungen eine höhere Erregbarkeit des Nervensystems über zentralnervöse Aktivierungsprozesse bewirken können. Dieser Aspekt wird ausführlicher in Kapitel A8.1.2 besprochen.

⁷ NEUMAIER selbst stellt jedoch 1997 aufgrund aktueller Untersuchungen fest, dass seine Aussage „in dieser pauschalen Form nicht aufrechterhalten werden“ kann (NEUMAIER 1997, 216).

- HEBESTREIT (1986) fordert aufgrund der Konzentrationsfähigkeit des Sportlers und der optimalen Erregbarkeit des Nervensystems die technische Schulung „an den Anfang des Hauptteils zu setzen“ (ebd., 251).
- Unter dem Aspekt der präventiven Trainingsgestaltung ordnet FREIWALD (1995) die „technisch anspruchsvollen Übungen“ vor Schnelligkeits-, Kraft- und Ausdauertraining (ebd., 39) ein.
- WEINECK (1994) verweist lediglich darauf, dass das „technische Training [...] in erholtem Zustand erfolgen“ sollte (ebd., 601).
- MATWEJEW (1981) gibt an, dass bei der Herausbildung einer neuen Technik die Wiederholungszahl der Übung gering ist, um keine Ermüdungszustände zu provozieren. Sie ist zu begrenzen, sobald die Gefahr besteht, dass technische Fehler gefestigt werden können (vgl. ebd., 117). Für die Vervollkommnung und Stabilisierung herausgebildeter Fertigkeiten merkt MATWEJEW (1981) an, dass die Fertigkeit umso leichter stabilisiert wird, „je standardisierter im Prozess der wiederholten Handlungsausführung ihre zu festigenden Merkmale reproduziert werden“ (ebd., 118). Da Ermüdung ein Parameter sein kann, der Abweichungen von den optimalen Bewegungsparametern der Bewegungstechnik hervorrufen kann, sollte diese ausgeschlossen werden bzw. sollten Bedingungen geschaffen werden, die die Wahrscheinlichkeit derart hervorgerufener Bewegungsabweichungen verringern (vgl. ebd.).

Die von MATWEJEW (1981) angeführten Ansichten zur Ermüdung im Techniktraining weisen deutlich auch einen Bezug zur Variabilität von Bewegungsausführungen auf. Hierzu äußert er sich konkreter wie folgt:

„[...] wenn man die Stabilität der Fertigkeiten mit Hilfe der Ermüdung erprobt, darf man keine wesentlichen Abweichungen von den vorgegebenen optimalen Bewegungsparametern zulassen [...] Im Prinzip zerstört die Ermüdung, wenn sie nicht übermäßig ist, die fest angeeigneten Fertigkeiten nicht, sondern kann zur Vervollkommnung der Bewegungskoordination beitragen“ (MATWEJEW 1981, 123).

Wünschenswert wäre hier weitergehend eine Präzisierung, a) welche *wesentliche* Abweichungen von den optimalen Bewegungsparametern sind und b) wo die Grenze zu einer übermäßigen Ermüdung hin zu ziehen ist. Dies bleibt leider offen, so dass für den Trainer hieraus keine klaren Handlungsanweisungen abgeleitet werden können.

In die gleiche Richtung wie MATWEJEWs Aussage (1981) zielt auch das von MÜLLER (1988) postulierte Trainingsprinzip der optimalen Ausführungsqualität, demzufolge das technisch-koordinative Training so zu planen ist, dass

„im praktischen Üben die jeweils höchstmögliche Ausführungsgüte erreicht wird. Das im jeweiligen Lernstadium erreichbare Optimum darf bei den einzelnen Wiederholungen nicht oder nur unwesentlich unterschritten werden, und die Bewegungsgüte sollte eine möglichst ständig ansteigende Tendenz aufweisen“ (MÜLLER 1988, 176).

Interne und externe Faktoren, die diese optimale Ausführungsgüte verhindern, müssten folglich vermieden werden.

TEMME/SAHRE (1998) relativieren diese gängige Auffassung der Trainingslehre vor dem Hintergrund der umfangreichen Studien von OLIVIER (1996a) und geben dem Sportlehrer folgende Hinweise zur Hand (vgl. TEMME/SAHRE 1998, 129f.):

- a) Das Neulernen motorischer Fertigkeiten sollte stets vor und niemals nach solchen Unterrichtsabschnitten stehen, die eine allgemeine aerobe oder anaerobe Ausdauerbelastung beinhalten.
- b) Fertigkeitserwerb und Techniks Schulung sollten möglichst vor Kraftbelastungen stehen. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um hochkoordinative Bewegungen handelt.
- c) Wenn die Kraftübungen nicht zu umfangreich sind und die zu erlernenden technischen Elemente mehr die Grobmotorik betreffen und insbesondere nicht selbst von der Kraft getragen werden, dürfen die Kraftübungen auch vor der Techniks Schulung stehen.
- d) Beim Stabilisierungstraining können durchaus konditionelle Belastungen mit mittleren Intensitäten als Hilfsmittel eingesetzt werden. Dabei sind extremmuskuläre Beanspruchungen und anaerobe Energieumsätze der im Techniktraining benötigten Muskelgruppen zu vermeiden.

Hier ist kritisch anzumerken, dass TEMME/SAHRE (1998) die Folgerungen aus den von Ihnen zitierten umfangreichen Untersuchungen von OLIVIER (1996a) nicht richtig ziehen. So zeigen diese beispielsweise, dass im Gegensatz zu Hinweis d) selbst eine erschöpfende neuromuskuläre Beanspruchung der bewegungsrelevanten Muskelgruppen zwar die Aneignungsleistung mindert, nicht jedoch die durch Techniktraining intendierte Lernleistung.

Zu einer völlig anderen als der tradierten Auffassung bezüglich der Einordnung des Techniktrainings innerhalb der Trainingseinheit gelangen MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993). Basierend auf der Konsolidierungshypothese (zur Erklärung der Konsolidierung aufgrund der

Proteinbiosynthese siehe BIRBAUMER/SCHMIDT 1995b) im Rahmen der neurophysiologischen Engrammtheorie, sehen sie das Techniktraining als abschließenden Teil einer Trainingseinheit (vgl. MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 83; 271). Die Quintessenz der Konsolidierungshypothese besagt, dass dynamische Engramme eine Konsolidierungsphase benötigen, um sich zu strukturellen Engrammen und somit zu überdauerndem motorischen Gedächtnisbesitz verfestigen zu können. Andere Tätigkeiten innerhalb dieser Phase könnten zu Interferenzen führen bzw. die Konsolidierung vollkommen verhindern⁸. Konditionstraining kann und sollte demnach innerhalb einer Trainingseinheit *vor* dem Techniktraining durchgeführt werden. Allerdings schränken die Autoren diese Aussage insofern ein, als dies nur ein „kurzes, nicht ermüdendes, aber hoch intensives *Kraft-* oder *Schnelligkeitstraining*“ sein kann (ebd., 271; Hervorhebung im Original). Explizit empfehlen die Autoren gar, kürzere Schnelligkeits- oder Schnellkraftteile von geringerem Belastungsumfang, die daher nicht zu Ermüdung führen, dem Techniktraining innerhalb der Trainingseinheit voranzustellen, wenn die Intensität der Bewegung beim Techniktraining durch volle Krafteinsätze gekennzeichnet ist (ebd., 83). Damit findet das Techniktraining nach Auffassung dieser Autoren im Rahmen einer Trainingseinheit eine andere Platzierung, dennoch sollte es ebenso wenig, wie auch bei den anderen einschlägigen Autoren empfohlen, unter Ermüdung, die durch eine vorangehende Belastung bedingt ist, stattfinden. Gerade das Technikerwerbstraining als Einschleiftraining von Engrammen sollte nach Auffassung der Autoren „vorwiegend unter zentralnervösen Regenerationsbedingungen“ ablaufen (ebd., 73). Als Ausnahme hiervon führen MARTIN/CARL/LEHNERTZ (1993) jene Form des Technikerwerbstrainings an, bei welcher die Stabilität der Technik gerade unter zentralnervöser Ermüdung durchgesetzt werden soll (ebd., 73). Ebenfalls mit Bezug auf die Engrammtheorie bezeichnet NEUMAIER (1997) das Techniktraining als ineffektiv oder gar kontraproduktiv, „wenn die für die korrekte Technikausführung notwendigen synaptischen Bahnungen nicht mehr präzise genug erfolgen, oder wenn der Konsolidierungsprozess gestört wird“ (ebd., 218). Ermüdungsprozesse führen u.a. auch dazu, dass „Ersatzsynapsen“ mobilisiert werden und es bei Fortführung des Techniktrainings unter solchen Bedingungen zur Bildung unerwünschter synaptischer Verschaltungen kommt (ebd.).

⁸ Offen lassen die Autoren jedoch, wie lange diese Konsolidierungsphase dauert, und – was noch wichtiger erscheint –, welche Tätigkeiten zu Interferenzen führen können. Denkbar wäre, dass hauptsächlich Tätigkeiten mit erhöhten kognitiven Anteilen interferieren, aber auch Bewegungstätigkeiten mit nur leicht ähnlichen zeit-räumlichen Bewegungsstrukturen (Skaggs-Robinson-Transferhypothese, vgl. PÖHLMANN 1994, 148f.). Dies ist aber reine Spekulation. Da eine exakte zeitliche Abgrenzung der Konsolidierungsphase sowie eine Kategorisierung interferierender Tätigkeiten noch nicht vorliegen, gibt dieser neurophysiologische Ansatz aktuell für die Sportpraxis, aufgrund mangelnder ableitbarer konkreter Handlungsanweisungen für den Trainer, wenig her. Auch muss auf motorikwissenschaftliche Befunde hingewiesen werden, die zeigen, dass „contextual interference“ während einer Aneignungsphase zu besseren Transfer- bzw. Behaltensleistungen führt (vgl. MAGILL/HALL 1990).

Diese auf der Engrammtheorie beruhende Betrachtungsweise zur Einordnung des Techniktrainings liefert nach Meinung von NEUMAIER (1997, 219) Begründungen für methodische Entscheidungen bzgl. des Trainings der Aufgabentypen mit konstanten externen Ausführungsbedingungen, bietet aber wenig Hilfen, wenn beispielsweise in Verbindung mit der Technikvariation Regeln und Strategien erlernt oder Wahrnehmungs- und Konzentrationsfähigkeit verbessert werden sollen, was über die Bildung motorischer Programme hinausgehe (ebd.). Hierzu stellt NEUMAIER (1997, 219) zusammenfassend fest, dass es bislang weitgehend ungeklärt ist, inwieweit bzw. ab wann Ermüdungsprozesse auf die Konsolidierung der für diese Aufgabenbewältigung aktivierten Engramme wirken.

Als Resümee kann festgehalten werden, dass im überwiegenden Teil der einschlägigen trainingswissenschaftlichen Literatur explizit bzw. implizit darauf hingewiesen wird, dass das Techniktraining im ersten Abschnitt des Hauptteils einer jeweiligen Trainingseinheit anzusetzen ist. Als Begründung wird zumeist herangezogen, dass das Techniktraining einen physisch und psychisch erhaltenen Organismus voraussetzt, der eine hohe Konzentrationsfähigkeit und eine optimale Erregbarkeit des Nervensystems aufweist. Dem Techniktraining vorangehende konditionelle Belastungen hätten hinsichtlich dieser Faktoren einen kontraproduktiven Effekt. Dass dennoch von konditionellen Belastungen auch positive Effekte auf ein folgendes Techniktraining erwartet werden, zeigt das in der Trainingspraxis übliche und in keinsten Weise in Frage gestellte Vorgehen, die Trainingseinheit mit einer konditionellen Belastung (von geringer Intensität), die zur Erwärmung führen soll, einzuleiten (vgl. Abbildung 1). Darüber hinaus scheint die tradierte Auffassung zur Einordnung des Techniktrainings in die Trainingseinheit und den Mikrozyklus vor dem Hintergrund der Arbeiten OLIVIERIS (1996a) nicht länger haltbar.

5.2 Experimentelle Befunde zum Einfluss von Ermüdung auf die motorische Leistung und das motorische Lernen

5.2.1 Einleitender Überblick

Zu den Effekten von experimentell induzierter Ermüdung (engl. *fatigue*) auf die Ausführungsleistung (*motor performance*) und die Lernleistung (*motor learning*)⁹ innerhalb eines

⁹ Zur Unterscheidung von „performance“ als Aneignungsleistung und „learning“ als Lernleistung siehe McCULLAGH (1993, 116f.; ebenfalls dazu CHAMBERLIN/LEE 1993, 214). Sie weist darauf hin, dass diese Begriffe bisweilen fälschlicherweise synonym verwendet werden. SCHMIDT (1988, 362) stellt klar heraus, dass unterschieden werden muss, ob Variablen relativ transiente Effekte bewirken (*performance variables*) oder permanente Effekte (*learning variables*).

motorischen Lernprozesses liegen vor allem aus dem angloamerikanischen Forschungsraum eine Vielzahl von Befunden vor (ein ausführlicher Überblick hierzu findet sich bei OLIVIER 1991). Allerdings lassen die ermittelten empirischen Daten bisheriger Forschungsarbeiten zum Problemfeld Ermüdung und motorische Ausführungsleistung resp. motorisches Lernen keine eindeutigen Aussagen bezüglich zu erwartender Effekte zu. Die äußerst unterschiedlichen Befunde hierzu können jedoch effektbezogen in drei Klassen subsumiert werden:

- a) Befunde, die den (zumindest temporären) negativen Einfluss von Ermüdung auf die Ausführungsleistung einer Bewegung nahe legen, die allerdings keine Beeinträchtigung der überdauernden Lernleistung aufzeigen (z.B. ALDERMANN 1965; CARRON 1969; DICKINSON/MEDHURST/WITTINGHAM 1979; DWYER 1984; SCHMIDT 1969; WHITLEY 1975; mit höherer Konstruktvalidität OLIVIER 1996a; mit höherer externer Validität für das sportmotorische Techniktraining DILLINGER 1997).
- b) Befunde, die darauf hindeuten, dass Ermüdung sowohl eine Ausführungsvariable darstellt, als auch eine Lernvariable, die in beiden Fällen zu einer Leistungsreduktion führt (z.B. CARRON 1972; GODWIN/SCHMIDT 1971; THOMAS/COTTEN/SPIETH/ABRAHAM 1975).
- c) Befunde, die von positiven Effekten der Ermüdung auf Aneignungs- und Lernleistung berichten (z.B. BENSON 1968; COCHRAN 1975).

Das untersuchungsmethodische Vorgehen kann bei den vorliegenden Arbeiten aus dem angloamerikanischen Forschungsbereich, wenn man von den nicht vernachlässigbaren Unterschieden in der konkreten Umsetzung des Untersuchungsdesigns abstrahiert (diese werden im Weiteren angesprochen), meist wie folgt charakterisiert werden: Bei einer Kontrollgruppe und zumindest einer Experimentalgruppe (Ermüdungsgruppe) wird in einem Vortest das Ausgangsniveau bezüglich der geforderten Kriteriumsbewegung festgestellt (*Baseline*). Daran schließt sich eine Aneignungsphase an, die zu einer Leistungssteigerung der Kriteriumsbewegung führen soll. Zu bestimmten Zeitpunkten während dieser Aneignungsphase wird für die Experimentalgruppe(n) eine konditionelle Belastung induziert mit der Zielstellung, „Ermüdung“ zu provozieren. Als abhängige Variablen werden die motorische Ausführungsleistung zu festgelegten Zeitpunkten innerhalb der Aneignungsphase erhoben (*Aneignungsleistung*), sowie die Leistung zu festgesetzten Behaltenszeitpunkten nach Durchlaufen der Aneignungsphase (*Lernleistung*). Letztere wird für die Gruppen in erholtem, d.h. unermüdetem Zustand ermittelt.

Die Divergenzen bei diesen Untersuchungen bezüglich der Effekte auf die Ausführungsleistung und die Lernleistung zeigen sich vordringlich a) in der Art der verwendeten Lernaufgabe, b) in der durch unterschiedliche Belastungen hervorgerufenen Ermüdung, c) der Art der Ermüdung (zentral vs. peripher) und d) den davon abhängenden schneller oder langsamer ablaufenden Erholungsprozessen. Als Schlüssel zum Verständnis dieser uneinheitlichen Befundlage stellen CHAMBERLIN/LEE (1993, 223) folgende Faktoren heraus:

a) Der Grad der induzierten Ermüdung.

Eine Analyse vorliegender Untersuchungen zeigt, dass die zur Ermüdung induzierten Belastungen hinsichtlich der Umfänge und Intensitäten erheblich differieren und zudem entweder personabhängig oder -unabhängig induziert werden.

b) Die Aufrechterhaltung der Ermüdung über die Dauer der Aneignungsphase.

Hier finden sich einmalige Belastungen entweder vor oder innerhalb der Aneignungsphase, aber auch stetige Wiederholungen der ermüdenden Belastungsaufgabe nach jedem Aneignungsversuch.

c) Der Zeitpunkt der Ermüdungsindizierung während der Aneignungsphase.

Einige experimentelle Designs erlauben den Probanden, sich vor der Aneignungsphase in Versuchen zur Feststellung des Ausgangsniveaus mit der Kriteriumsbeziehung vertraut zu machen. Erst im Anschluss daran wird das Ermüdungstreatment gesetzt. In anderen Designs ist das Ermüdungstreatment zwar ebenfalls vor der Aneignungsphase lokalisiert, aber den Probanden sind keine Vortests gestattet. In einer dritten Gruppe experimenteller Designs wird die Ermüdung erst nach einer hohen Anzahl an Aneignungsversuchen induziert, so dass bereits der überwiegende Teil der Aneignungsphase abgeschlossen ist.

Weiterhin muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass es Hinweise darauf gibt, wonach die Effekte der Ermüdung auch anforderungsabhängig zu sein scheinen. So konnte BENSON (1968) mit einer Sprungaufgabe als Kriteriumsbeziehung nachweisen, dass eine mittels Fahrradergometer induzierte Belastung sich negativ auf die Lernleistung auswirkt, wenn die Geschwindigkeit die abhängige Variable bei der speziellen Sprungaufgabe darstellt, diese allerdings positive Effekte bezüglich der Lernleistung bewirkt, wenn die Genauigkeit die abhängige Variable ist.

5.2.2 Ermüdung und motorische Ausführungsleistung

Analysiert man die besagten Untersuchungen bezüglich der Effekte der Ermüdung auf die Aneignungsleistung, so kann als stabilster Befund hervorgehoben werden, dass der Grad der

Ermüdung die entscheidende beeinflussende Variable darstellt, wobei starke Ermüdungszustände mit signifikanten Leistungseinbußen einhergehen. In wenigen Untersuchungen wird aber auch von positiven Wirkungen der Ermüdung auf die Aneignungsleistung berichtet (z.B. COCHRAN 1975; DICKINSON/MEDHURST/WHITTINGHAM 1979; RICHARDS 1968). Für die verminderte Aneignungsleistung unter hochgradiger Ermüdung werden vor allem zwei Gründe angeführt (vgl. zusammenfassend CHAMBERLIN/LEE 1993, 222):

- a) Die biochemischen Korrelate der Ermüdung bewirken auf verschiedenen Wegen eine Leistungsminderung (vgl. z.B. CARRON 1972; RICHARDS 1968).
- b) Die Effektivität der Informationsverarbeitung wird durch die Ermüdung herabgesetzt. Folge ist eine Beeinträchtigung der neuromuskulären Koordination (vgl. z.B. DWYER 1984)

Als wesentliche Gründe für eine bessere Aneignungsleistung nach dem Setzen des Ermüdungstreatments nennt COCHRAN (1975, 249) a) einen „warm-up“-Effekt (in diesem Sinne auch RICHARDS 1968), b) einen motivationalen Effekt (gesteigerte Motivation bei der Experimentalgruppe durch die Andersartigkeit der Lernaufgabe gegenüber der monotonen Belastungsaufgabe) sowie c) einen verminderten Muskeltonus. Der letzte Aspekt findet sich auch bei MATWEJEW (1981) wieder, der zur Verbesserung der Entspannungsfähigkeit fordert, Übungen „unter Bedingungen einer gewissen Ermüdung“ (ebd., 141) durchzuführen, allerdings nur, wenn dies nicht zu einer Diskoordination der Bewegung führt.

OLIVIERS (1996a, 24) detaillierte Analyse der Untersuchungen zum Komplex „Ermüdung und motorische Leistung bzw. motorisches Lernen“ ließen drei Faktoren in den Vordergrund treten, die für die dargelegten unterschiedlichen Aneignungsleistungen verantwortlich zu sein scheinen:

- a) Der „Grad der muskulären Ermüdung“ der durch die konditionellen Belastungen beanspruchten Muskelgruppen.
(Siehe dazu auf Seite 54 den von CHAMBERLIN/LEE (1993) genannten Faktor „Grad der induzierten Ermüdung“, der mit diesem Faktor identisch ist).
- b) Belastungsbedingte zentralnervöse Aktivierungsprozesse.
Dieser Faktor wird in den meisten Untersuchungen zum motorischen Lernen als statischer Zustand „Aktivierung“ berücksichtigt, aber zumeist nur über die durch die konditionelle Belastung provozierte Ermüdung operationalisiert. Diese Aktivierung wird aber weder als zentralnervöse Beanspruchungsgröße gemessen, noch eigenständig experimentell manipuliert. In Kapitel A8.1.2 wird hingegen noch dargelegt werden, dass

verschiedene konditionelle Belastungen unterschiedliche Effekte auf zentralnervöse Aktivierungs- und Deaktivierungsprozesse haben.

- c) Der Anteil einer direkten konditionellen Komponente an der Lernaufgabe, sowie die Übereinstimmung der durch konditionelle Belastungen ermüdeten Muskelgruppen mit denen, die für die Ausführung relevant sind.

Hier finden sich Lernaufgaben, bei welchen die konditionelle Komponente eine gewichtige Rolle spielt (z.B. GODWIN/SCHMIDT 1971; ALDERMANN 1965: schnellkräftige Bewegung mit dem Ziel der Zeitminimierung), wohingegen für andere Aufgaben vorrangig koordinative Fähigkeiten leistungsbestimmend sind (z.B. BENSON 1968: Jonglieren; COCHRAN (1975); THOMAS/COTTEN/SPIETH/ABRAHAM (1975): Stabilometer-Balancieren). Offensichtlich bestehen auch Differenzen hinsichtlich der Ermüdungsinduzierung in den für die Lernaufgabe relevanten Muskelgruppen (z.B. lokale, spezifische Ermüdung der Armmuskulatur bei geforderter schnellstmöglicher horizontaler Kreisbewegung des Armes vs. globale, unspezifische Ermüdung der Beinmuskulatur bei zu erbringender Jonglieraufgabe mit den Händen).

Neben diesen Kausalerklärungen für positive bzw. negative Effekte von Ermüdung auf die Aneignungsleistung finden sich in der einschlägigen Literatur zu diesem Problemfeld die auf einer anderen Beschreibungsebene angesiedelten Ansätze zum Zusammenhang von verschiedenen „Ermüdungsgraden“ und der ermittelten Aneignungsleistung¹⁰. Am häufigsten werden zwei Formen dieses Zusammenhangs postuliert (vgl. Abbildung 2): Zum einen ein umgekehrtes „U“ (vgl. z.B. CARRON 1972; PACK/COTTEN/BIASIOTTO 1974), zum anderen ein umgekehrtes „J“ (vgl. z.B. DWYER 1984; RICHARDS 1968; THOMAS/COTTEN/SPIETH/ABRAHAM 1975).

¹⁰ Dieser dargestellte Zusammenhang zwischen Ermüdungsgrad und Aneignungsleistung wird in vielen Fällen unreflektiert und ohne hinreichende Begründung auch für den Ermüdungsgrad und die Lernleistung postuliert.

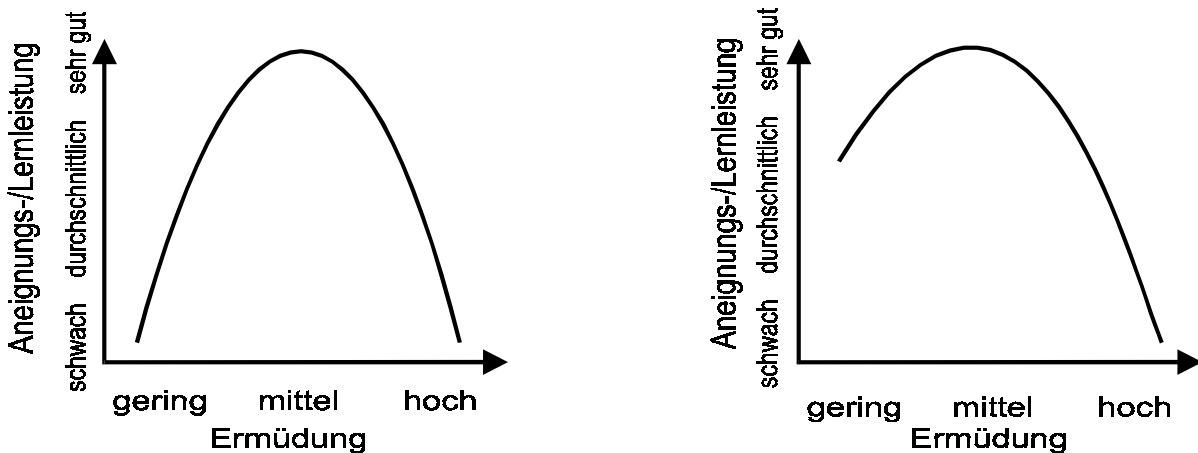


Abbildung 2: Postulierter Zusammenhang zwischen Aneignungsleistung und Ermüdung nach Umgekehrter-U-Hypothese (linke Abbildung) und Umgekehrter-J-Hypothese (rechte Abbildung).

Diesen Auffassungen zufolge sollte ein geringer bis mittlerer Ermüdungsgrad Erwärmungseffekte hervorrufen, welche wiederum bessere Ausführungsleistungen gegenüber der Ausführung in unermüdetem Zustand bewirken sollen. Jenseits eines optimalen Ermüdungsgrades (welcher graphisch durch den Hochpunkt des Kurvenverlaufes abgebildet ist), führen negative Effekte der Ermüdung (z.B. erhöhte Laktatkonzentration) zu einer Minderung der Ausführungsleistung bis hin zum erschöpfungsbedingten Abbruch am äußersten Ende dieses Kontinuums „Unermüdet – Ermüdet“. Da die mit diesem Punkt (Abbruch) der Kurve einhergehende Leistung im Normalfall unterhalb der Ausführungsleistung in unermüdetem Zustand gefunden wird, ist die „Umgekehrte-J-Hypothese“ plausibler.

Die zuvor postulierte „Umgekehrte-U-Hypothese“ zum Zusammenhang zwischen Ermüdung und Aneignungsleistung beruht auf einer Untersuchung von YERKES/DODSON (1908), die allerdings den Zusammenhang von (Aneignungs-)Leistung und Aktivierung für die Ebene kognitiver Funktionen beschreibt. In diesem Experiment sollten Mäuse Helligkeitsunterscheidung lernen. Als Ergebnis war zu konstatieren, dass die Beziehung zwischen der Intensität eines Elektroschocks (worüber die Aktivierung operationalisiert wurde) und der Leistung einem umgekehrten „U“ folgte. Die optimale Leistung wird dieser Untersuchung zufolge bei mittlerer Aktivierung erzielt (vgl. auch BIRBAUMER/SCHMIDT 1995a, 143).

Wie oben bereits dargelegt, wurde diese Beziehung im motorikwissenschaftlichen Forschungsbereich häufig auf motorische Leistungen übertragen, wobei in den angeführten

Untersuchungen Aktivierung mit Ermüdung gleichgesetzt (vgl. z.B. PACK/COTTEN/BIASIOTTO 1974; THOMAS/COTTEN/SPIETH/ABRAHAM 1975) und der von YERKES/DODSON (1908) postulierte Zusammenhang auch für die Beziehung zwischen Aneignungsleistung und Ermüdung diskutiert und experimentell überprüft wurde. Dies scheint jedoch nicht ganz unproblematisch zu sein. Eine solche Gleichsetzung von Ermüdung und Aktivierung ist nicht gerechtfertigt, da nicht alle Ermüdungszustände mit erhöhter Aktivierung einhergehen (vgl. Kapitel A8.1.2). Beide Faktoren könnten, so RICHARDS (1968), gar entgegengesetzte Effekte auf die Ausführungsleistung haben. Eine Leistungssteigerung wird hierbei hauptsächlich durch einen „warm-up“-Effekt (besser: durch die verschiedenen Effekte eines „warm-up“; zu den differenzierten Effekten des Aufwärmens auf anatomische Strukturen, physiologische Größen und neuronal-psychische Faktoren siehe ausführlich FREIWALD 1991) durch die vorhergehende Belastung erreicht, während durch die gleichzeitig induzierte Ermüdung negative Leistungseffekte erwartet werden müssen. Die Wirkungen der beiden exponentiell ansteigenden Faktoren („Warm-up“ und Ermüdung) sollen sich, so RICHARDS (1968), dann überlagern und ihre Differenz einen Nettoeffekt auf die Leistung erzeugen. Dieser sei bei geringer Belastung positiv, nähere sich anschließend einem Maximalwert und falle bei weiter ansteigender Belastung wieder ab und werde möglicherweise sogar negativ, d.h. die Leistung wird schlechter als in unermüdetem Zustand. Des Weiteren wird der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe als intervenierende Variable angeführt, welcher sich auf den Punkt der optimalen Aktivierung auswirkt. Demnach ist der optimale Aktivierungsgrad höher für einfache Aufgaben mit einem höheren Anteil grobmotorischer Kontrolle (vgl. SCHMIDT 1991).

5.2.3 Ermüdung und motorisches Lernen

Wie bereits im einführenden Überblick zu dieser Thematik (Kapitel 5.2.1) dargestellt wurde, sehen CHAMBERLIN/LEE (1993) hauptsächlich drei Aspekte für die unterschiedlichen Befunde zum Problemfeld Ermüdung und motorisches Lernen.

MAGILL (1989) diskutiert in einem Überblick hierzu eine „threshold of fatigue“ (ebd., 473), unterhalb derer Ermüdung keine Beeinträchtigung der Lernleistung nach sich zieht, und oberhalb derer Ermüdung eine Lernvariable darstellt. Die Lage dieser Schwelle sei sowohl abhängig vom Trainingszustand des Athleten als auch von der Lernaufgabe. Allerdings weist MAGILL (ebd.) darauf hin, dass in der wissenschaftlichen Literatur keine validen Kriterien zur Bestimmung einer solchen Schwelle bekannt sind und rät Trainern daher, sich bei der Festlegung des „amount of fatigue that their students can show before eliminating any further

instruction“¹¹ (ebd.) auf ihre Intuition und Erfahrung zu verlassen. SINGER (1985, 494) präsentiert *Leistungsvariablen*, „d.h. Variablen, die zwar vorübergehend die Leistung mindern können, für den Lernprozeß selbst jedoch keine besonderen Konsequenzen haben“ (ebd.) und subsumiert unter diese Kategorie auch Ermüdungseffekte, durch die „mehr die Leistung als der Lernprozeß behindert [wird], d.h. ein Lernprozeß vollzieht sich ständig“ (ebd., 496). Auf Fluktuationen der Ausführungsleistung in den meisten Lernkurven weist CRATTY (1967, 259) hin. Zur Begründung zieht er *temporäre Faktoren* heran, worunter er auch explizit Ermüdung zählt. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass die überdauernde Lernleistung von der temporären Ermüdung während der Aneignungsphase unbeeinflusst bleibt. Im gleichen Sinne ist auch SCHMIDT (1991, 193) zu verstehen, der sich im Kontext von massiertem vs. verteiltem Üben zum Einfluss von Ermüdung auf die Lernleistung äußert, wobei er zu dem Schluss gelangt, dass allem Anschein nach „fatigue is not a particularly potent variable for reducing learning – it mainly affects performance temporarily“ (ebd.). Diese Art der Ermüdung, die SCHMIDT (ebd.) anführt, wird durch das massierte Üben hervorgerufen, oder anders ausgedrückt durch techniktrainingsimmanente konditionelle Belastungen, von DWYER (1984) als *autogenic fatigue* bezeichnet. SCHMIDT (1991, 193) nennt als praktische Implikationen aus diesen Befunden folgende Handlungsanweisung für den Trainer:

„It would be good, to explain to the learner that even though fatigue may come during practice, he or she is still learning effectively. Inform the student that the learning gained under fatigue will be evident in the future, after the temporary fatigue effects has gone.“

Den gleichen Standpunkt vertreten, unter Hervorhebung des motivationalen Aspekts, OLIVIER/DILLINGER (1997, 30), die auf folgenden wesentlichen Gesichtspunkt hinweisen:

„Wenn ein Techniktraining unter konditionellen Belastungsbedingungen durchgeführt wird, muss der Trainer dem Athleten verdeutlichen, daß die unmittelbare Leistung durch konditionelle Belastungen vermindert sein kann. Er muss die Relevanz der längerfristig gesteigerten Lernleistung hervorheben.“

Die von SCHMIDT (1991, 193) getroffene Aussage, dass Ermüdung keine Lernvariable darstelle, wurde allerdings später in dieser allgemeinen Form revidiert (vgl. SCHMIDT/WRISBERG 2000). SCHMIDT/WRISBERG (ebd., 206) unterscheiden die Wirkung von massiertem vs. verteiltem Üben

¹¹ Die Fähigkeit zur Verarbeitung der dargebotenen Lerninformation ist natürlich ein bedeutsamer Faktor. Für das sportliche Techniktraining weisen auch OLIVIER/DILLINGER (1997, 30) darauf hin, dass dieses „unter hohen konditionellen Belastungen durchgeführt werden [kann], wenn eine sachgemäße informationelle Aufbereitung gewährleistet ist“.

in Abhängigkeit von der Art der Bewegungsaufgabe. Bei diskreten Aufgaben, wie z.B. einem Basketballwurf, hat massiertes Üben keinen bzw. in bestimmten Fällen sogar einen positiven Effekt auf die Lernleistung. Bei kontinuierlichen Aufgaben hingegen können sich während eines Ausführungsversuches eher Ermüdungszustände etablieren; hier deuten eine Reihe von Laborexperimenten darauf hin, dass durch massiertes Üben nicht nur die Aneignungsleistung vermindert ist, sondern auch ein permanenter Effekt auf die Lernleistung resultiert (vgl. ebd.). Allerdings heißt dies nicht, dass überhaupt nicht gelernt wird, vielmehr ist die Lernleistung lediglich reduziert. Hier stellt SCHMIDT (1988, 386) die plausible Frage, wie ein Lernender eine Aufgabe unter massierten Bedingungen üben kann, wenn die Ausführungsleistung deutlich geringer ist als unter verteilten Bedingungen und dennoch fast genauso viel lernen kann (vgl. ebd.)? Diese Effekte stünden, so SCHMIDT weiter, in krassem Gegensatz zu der plausiblen Annahme, dass die mit massiertem Üben einhergehende Ermüdung die Lernenden zu einer „falschen“ Bewegung zwingt. Als eine Hypothese wird angeführt, dass massiertes Üben zu einer sehr hohen Variabilität der Bewegung (die hauptsächlich als Rauschen zu klassifizieren ist, der Autor) im Übungsprozess führt, und dass daraus ein stärkeres Lernen der Aufgabe resultiert, welches sogar die negativen Effekte der Ermüdung kompensiert (vgl. ebd.). Die hieraus resultierende bessere Lernleistung sieht er vor dem Hintergrund der variability-of-practice-Hypothese (vgl. dazu den Exkurs in Kapitel A4.3). Als weitere Erklärungsalternative dient SCHMIDT die Hypothese, dass massiertes Üben die Aufgabe mühsamer macht und infolge der gesteigerten Schwierigkeit der Lernende gezwungen ist, die aufgabenrelevanten Informationen auf einer tieferen Stufe zu verarbeiten¹².

Zur Begründung negativer Effekte von Ermüdung auf die Lernleistung wird zumeist angeführt, dass der Lernende unter Ermüdungswirkung eine Bewegungstechnik realisiert, die sich von einer in unermüdetem Zustand ausgeführten Technik unterscheidet (vgl. CHAMBERLIN/LEE 1993, 223). Bei einer Abweichung der ermüdet dargebotenen Technik von der Zieltechnik ist mit einer negativen Wirkung dieser nicht optimalen Bewegungsausführung auf die komplexe sportliche Leistung zu rechnen. In diesem Sinne äußert sich auch DWYER (1984, 135), der unter extremen Ermüdungsbedingungen die Bewegungskoordination derart gestört sieht, dass eine modifizierte Version der Bewegungsaufgabe gelernt wird. In diesem Zusammenhang weist er gleichzeitig darauf hin, dass „an impairment of learning *per se* may not occur“ (ebd.), d.h. es wird auch unter hoher Ermüdung gelernt – nur eben nicht die angesteuerte Zieltechnik. In die gleiche

¹² Die Annahme, dass eine Verarbeitung der Information auf einer „tieferen“ Ebene zu einem besseren Lerneffekt führt, erfolgt vor dem Hintergrund der psychologischen Einspeicher-Theorien, welche die Gedächtnisleistung als Funktion der Verarbeitungstiefe („depth of processing“) ansehen, wobei die Tiefe durch verschiedene Stufen realisiert wird (vgl. CRAIK/LOCKHART 1972; WESSELS 1994).

Richtung interpretiert CAPLAN (1969), der für äußerst plausibel hält, dass starke Ermüdung „so impair the quality of performance that the effects of practice in producing learning under these substandard conditions is reduced“ (ebd., 41). Für weniger plausibel hält er die Annahme, dass eine Anhäufung saurer Metaboliten über den Kreislauf mit zentralen neuronalen Prozessen, die im Lernprozess involviert sind, interferiert (ebd.). Entgegen der Hypothese CAPLANS (ebd.), findet ALDERMAN (1965) keinen Anhaltspunkt dafür, „that the impairment of the quality of movement [...] reduces learning“ (ebd., 140).

Zur Begründung konstatierter positiver Effekte der Ermüdung auf die Lernleistung werden spekulativ folgende Erklärungsansätze herangezogen (vgl. BENSON 1968, 256): Zum einen könnte das Üben in einer Aneignungsphase unter Ermüdungseffekten eine *höhere Konzentration* auf die Lernaufgabe benötigen, was ein lernbegünstigender Faktor wäre. Zweitens könnte Ermüdung im Organismus einen Zustand *relativer Entspannung* hervorrufen, wodurch aufgrund geringerer – und nicht interferierender – Muskelspannungen schneller gelernt wird (vgl. auch COCHRAN 1975, 249). Drittens wird auch die Möglichkeit eingeräumt, dass in ermüdetem Zustand der Lernende auf *einfachere Strategien* zur Lösung der Bewegungsaufgabe zurückgreift, die im Falle höherer Effizienz leichter gelernt werden sollen.

Der in Kapitel 5.2.2 bereits angesprochene Zusammenhang von Ermüdung und *Aneignungsleistung* (Umgekehrte-U- bzw. Umgekehrte-J-Hypothese) wird in einigen verhaltenswissenschaftlichen Untersuchungen auch für Ermüdung und *Lernleistung* postuliert, obwohl in keinem der durchgeführten Experimente ein derartiger hypothesenkonformer Kurvenverlauf hätte aufgezeigt werden können, selbst wenn durch die Abstufung des Faktors „Ermüdung“ ein solcher Verlauf prinzipiell hätte nachgewiesen werden können (vgl. z.B. PACK/COTTEN/BIASIOTTO 1974). Die vorhandenen Reduktionen von Aneignungs- und Lernleistung werden damit erklärt, dass man sich in unermüdetem Zustand am Hochpunkt der Funktionskurve befindet und nach Setzen der verschiedenen Ermüdungstreatments irgendwo auf dem abfallenden Teil der Kurve (ebd., 195). Obwohl die empirische Datenlage eher schwache Anhaltspunkte für einen umgekehrt-U-förmigen Kurvenverlauf bietet, sehen PACK/COTTEN/BIASIOTTO (1974, 196) dennoch die Beziehung zwischen Aktivierung und Lernleistung (und auch Aneignungsleistung) in partieller Übereinstimmung mit der Theorie des umgekehrten U.

Zuletzt soll hier noch auf den Sicherheitsaspekt hingewiesen werden, den SCHMIDT/LEE (1999) im Zusammenhang mit massiertem und verteiltem Üben hinweisen. Wie oben bereits erwähnt, hat massiertes Üben einen deutlichen Effekt auf die Bewegungsausführung (vgl. Kapitel A5.2.3)

bei bestimmten Bewegungsaufgaben. Dies kann zu einer erhöhten Verletzungsgefahr bei bestimmten Aufgaben führen. Hier sei z.B. an einen Salto rückwärts auf dem Schwebebalken gedacht, bei dem Fehler in der Bewegungsausführung zu schwerwiegenden Verletzungen führen können. Für den sportlichen Bereich ist daher für die Gestaltung eines Techniktrainings aus verletzungsprophylaktischer Sicht zu fordern, dass eben solche Situationen zu vermeiden sind, in denen aufgrund konditioneller Belastungseffekte die Bewegungsausführung derart beeinflusst ist, dass daraus ein erhöhtes gesundheitliches Risiko für den Lernenden resultiert.

5.2.4 Zusammenfassung

An dieser Stelle kann festgestellt werden, dass die vorrangig aus dem angloamerikanischen Forschungsbereich vorliegenden Befunde zum Einfluss von Ermüdung auf die motorische Leistung und das motorische Lernen sehr uneinheitlich sind. Mögliche Gründe für diese unbefriedigende Datenlage wurden aufgezeigt, sowie Erklärungen für negative resp. positive Effekte von Ermüdung auf die motorische Leistung und das motorische Lernen angeführt. Als ein wesentlicher Faktor, der für die uneinheitliche Befundlage verantwortlich ist, kann das unterschiedliche Verständnis des Begriffs „Ermüdung“ herausgestellt werden. Dieser soll im folgenden Kapitel Gegenstand der Betrachtung sein.

6 Ermüdung, Belastung und Beanspruchung

Im folgenden Kapitel wird der Ermüdungsbegriff einer kritischen Betrachtung unterzogen, wobei offensichtlich bestehende Definitions- und Operationalisierungsprobleme des Begriffs „Ermüdung“ verdeutlicht werden. Als fruchtbarer Ansatzpunkt für die Sportwissenschaft wird im Anschluss das genuin arbeitswissenschaftlich-ergonomische Belastungs-Beanspruchungskonzept vorgestellt. Dessen Bezug zur Sportwissenschaft und die Übertragbarkeit in diese werden erläutert. Schließlich werden die verbesserten Möglichkeiten aufgezeigt, die dieses Konzept bietet, um Fragen zur Wirkung konditioneller Belastungen über das geeignetere Konstrukt „Beanspruchung“ zu bearbeiten.

6.1 Kritik am Ermüdungskonzept

Auch nach mehr als 50 Jahren muss man sich der bereits 1942 von MOORE getroffenen Feststellung „What fatigue is, no one knows“ (zit. nach NITSCH 1970, 13) zweifelsohne anschließen. Definitionen und Erklärungsansätze zur Ermüdung betonen, dass sie eine *belastungsbedingte reversible* Verminderung der *Leistungs- oder Funktionsfähigkeit* bzw. der *Leistung oder Funktion* darstellt. Eine in diesem Sinne exemplarische Definition von Ermüdung wurde von SCHARSCHMIDT (1980, 239) vorgenommen, der sie bestimmt als

„den *komplexen Prozeß* reversibler funktioneller Veränderungen *nach einer akuten* (zunächst einmaligen) *sportlichen Beanspruchung* mit zeitweiliger Leistungsminderung“ (ebd., Hervorhebung im Original)

OLIVIER (1996a, 39ff.) unterzog eine Vielzahl existierender Definitionen des Begriffs „Ermüdung“ einer ausführlichen Analyse und thematisierte die folgenden kritischen Punkte hinsichtlich der Begriffsintension:

- a) Der Unterschied im Ermüdungsverständnis zwischen der „Verminderung der *Leistung*“ und der „Verminderung der *Leistungsfähigkeit*“.
- b) Die ungeklärte Frage, *welche Belastungen* die reversible Verminderung *welcher Leistungen/Leistungsfähigkeiten* bedingen.

Geläufig sind in diesem Zusammenhang auch begriffliche Ausdifferenzierungen der „allgemeinen Ermüdung“, die Ermüdungen von Teilsystemen beschreiben sollen, so beispielsweise physische vs. psychische Ermüdung (vgl. SCHMIDTKE 1965; STEHLE 1992), muskuläre vs. zentrale Ermüdung (vgl. DAVIS/BAILEY 1997; DE MARÉES/MESTER 1991b), periphere vs. zentrale Ermüdung (vgl. VIRU/PAEAESUKE 1991; WEINECK 1990) und lokale

(periphere) vs. zentrale (allgemeine) Ermüdung (vgl. HOLLMANN/HETTINGER 1990; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993). Diese Begriffe werden jedoch in der Sportwissenschaft nicht eindeutig und präzise verwendet. Einmal beinhalten zwei verschiedene Begriffe die gleiche Begriffsintension, ein anderes Mal wird der gleiche Begriff bei verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen Begriffsintensionen belegt. Was hingegen für das Definitionsproblem in diesem Zusammenhang entscheidender ist: es wird durch diese Ausdifferenzierungen in keinsten Weise behoben; die gleichen erläuterten Probleme bestehen auch weiterhin für die Ausdifferenzierungen des allgemeinen Ermüdungsbegriffs.

Vor dem Hintergrund der dargelegten Definitionsprobleme ist nachvollziehbar, dass die Operationalisierung eines Konstruktes, dessen Definition nicht eindeutig ist, zwangsläufig scheitern muss. So trifft die von SCHMIDTKE bereits 1965 getroffene Feststellung, dass „ein allgemeiner und repräsentativer Ermüdungsindikator bisher nicht gefunden wurde und sicher auch nicht existiert“ (ebd., 267) auch heute noch zu. So kann beispielsweise nach submaximalen Drop-Jumps (Prellsprünge) ein bestimmter Laktatwert ein Indikator für die „Ermüdung“ des anaeroben Stoffwechsels sein, den Anstieg der EMG-Gesamtaktivität im Verlauf der Sprungserie bei einigen in die Bewegungsausführung involvierten Muskeln würde man sicherlich gerade nicht als Ermüdung des neuronalen Systems begreifen (zu den erläuterten Befunden vgl. FRICK 1993, 189ff.).

Es bleibt an dieser Stelle festzustellen, dass das Konstrukt „Ermüdung“ aufgrund der dargelegten Definitions- und daraus resultierenden Operationalisierungsproblemen keinen geeigneten Zugang zur experimentellen Bearbeitung dieser Forschungsfrage bietet.

6.2 Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Einen fruchtbareren Zugang zur Bearbeitung unserer Forschungsfrage stellt das Konstrukt „Beanspruchung“ dar. Dafür spricht insbesondere, dass „ein einseitiges Verständnis ausschließlich leistungsnegativer Wirkungen konditioneller Belastungen vermieden wird und dass individuelle Voraussetzungen Berücksichtigung finden“ (OLIVIER 1996a, 41). In diesem Zusammenhang bemerkt KRATZER (1991) ganz richtig, dass „eine sportliche Belastung sowohl positive als auch negative Belastungswirkungen gleichzeitig impliziert“ (ebd., 49).

Zunächst möchte ich eine Definition der Begriffe „Belastung“ und „Beanspruchung“ geben, für deren klare Trennung sich bereits seit den siebziger Jahren die Arbeitswissenschaftler ROHMERT und RUTENFRANZ ausgesprochen haben. Sie verstehen unter Belastungen „objektive, von außen her auf den Menschen einwirkende Größen und Faktoren“. Der Begriff der

Beanspruchung steht hingegen für die subjektiven Folgen der Belastung, für „deren Auswirkungen im Menschen und auf den Menschen“ (zit. n. SCHÖNPFLUG 1987, 133).

Für den Bereich des sportlichen Trainings kennt man gleichermaßen die Begriffe Trainingsbelastungen und -beanspruchungen. Die Trainingsbelastungen umfassen „die Gesamtheit der von einem Sportler realisierten Trainingsformen“ (MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993, 30), Trainingsbeanspruchungen „die unterschiedlichen psychophysischen Reaktionen eines Individuums auf realisierte Trainingsformen“ (ebd., 31). Die Trainingsbelastungen lassen sich dabei über die in der Trainingswissenschaft üblichen Beschreibungsgrößen der Belastungsanforderungen, die Belastungsnormative, beschreiben. Diese Belastungsgrößen finden ihre Anwendung im Bereich des Konditionstrainings, für den Bereich des motorischen Lernens liegen vergleichbare Differenzierungen informationeller Belastungsformen noch kaum vor (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 17). Hierzu wären beispielsweise einerseits allgemeine Aspekte wie Informationsmenge, Strukturiertheit oder Bekanntheitsgrad der Information, andererseits spezielle Aspekte wie Parameter von Feedbackprozeduren (relative und absolute Häufigkeit der Ergänzungsinformation, Zeitstrukturen u.a.m.) zu zählen (ebd., 18). Auch für das Techniktraining weist SAß (1991; 1997) darauf hin, dass Richtlinien zur Belastungsgestaltung selten vorliegen bzw. deutlich voneinander abweichen.

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept wurde durch die Sportwissenschaft aus der forschungsmethodisch verwandten Arbeitswissenschaft¹³, genauer aus ihrer Teildisziplin „Ergonomie“, übernommen. Nach dem vereinfachten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (vgl. ROHMERT 1984, 193ff.) führen bestimmte Belastungen in Abhängigkeit von individuellen Voraussetzungen – dazu zählen Eigenschaften, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Bedürfnisse – zu bestimmten Beanspruchungen (vgl. Abbildung 3).

¹³ Hierzu ist anzumerken, dass der Unterschied zwischen Sportwissenschaft und Arbeitswissenschaft möglicherweise nur in ihrem Formalobjekt besteht (vgl. WILLIMCZIK/DAUGS/OLIVIER 1991, 27), dem sporttreibenden Menschen bzw. dem arbeitenden Menschen. So unterscheiden sich Sport- und Arbeitsmotorik weniger „durch ihren äußeren Vollzug als vielmehr durch ihre unterschiedliche Sinnggebung“ (SCHERLER 1975, 19).

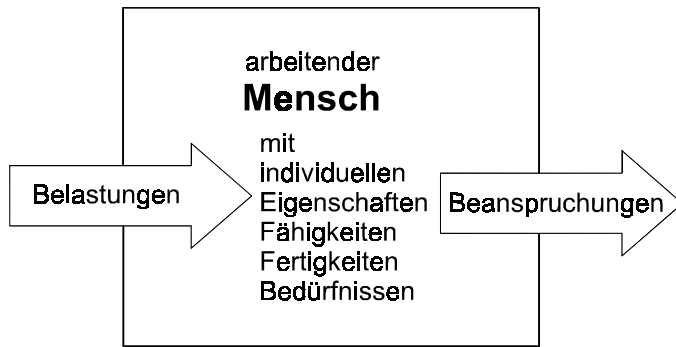


Abbildung 3: Vereinfachtes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (modif. n. ROHMERT 1984, 195)

Dieses Grundkonzept erfuh eine Reihe von Ausdifferenzierungen sowohl auf der Belastungs-, als auch auf der Beanspruchungsseite, so dass mittlerweile einige Modelle vorliegen, die einen fruchtbaren Ansatzpunkt darstellen, um Wirkungen bestimmter Belastungen auf den Menschen, d.h. Beanspruchungen, detaillierter beschreiben zu können. Eines dieser

Modelle ist das phänomenorientierte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (vgl. ROHMERT 1984, 196; OLIVIER 1996a, 42ff.), welches Teilbelastungen und Teilbeanspruchungen identifiziert (siehe Abbildung 4).

Die Belastungen lassen sich gemäß diesem Modell durch die Faktoren *Komponenten*, *Arten*, *Höhe* und *zeitliche Abfolge* von Teilbelastungen beschreiben. Dieses Belastungsgefüge, das ROHMERT „Komposition der Teilbelastungen“ (1984, 196) nennt, bewirkt schließlich, in Abhängigkeit von den individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten,

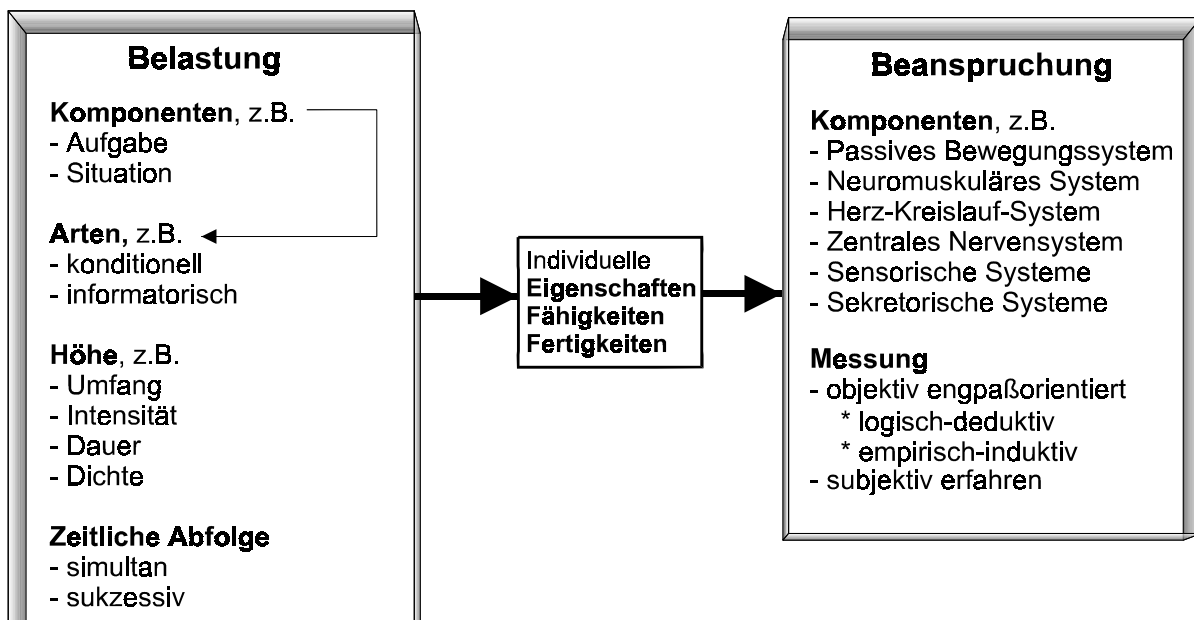


Abbildung 4: Phänomenorientiertes Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (modif. n ROHMERT 1984, 196 u. OLIVIER 1996a, 43).

Teilbeanspruchungen verschiedener Organsysteme (z.B. vorrangige Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems bei einer Ausdauerbelastung bzw. vorrangige Beanspruchung des ZNS beim mentalen Training).

Die Messung dieser Beanspruchungen kann einerseits objektiv engpassorientiert erfolgen (wobei nach Engpässen von Organen oder Funktionssystemen des Menschen gesucht wird), andererseits besteht die Möglichkeit, die subjektiv erlebte Beanspruchung zu erfassen (z.B. über die in der Psychologie üblichen Methoden der Selbstbeschreibung, Selbstbeurteilung und Selbstskalierung). Die objektive Beanspruchungsermittlung erfolgt entweder logisch-deduktiv, basierend auf einem modellorientierten Beanspruchungsbegriff, wonach Beanspruchung als ein theoretisches Konstrukt zu verstehen ist, das „dem Grad der Ausschöpfung bestimmter Eigenschaften, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Bedürfnisse durch bestimmte Belastungen“ entspricht (ROHMERT 1984, 197). Sie kann aber auch empirisch-induktiv erfolgen, über einen phänomenorientierten Beanspruchungsbegriff, „der die Beanspruchung operational definiert, da sie sich im Grad der Inanspruchnahme der Dynamik physiologischer Variablen bei Belastung zeigt“ (ebd.). Als Beispiel für die logisch-deduktive Beanspruchungsermittlung lassen sich die Intensitätsvorgaben beim Konditionstraining anführen (vgl. z.B. LETZELTER 1987, 34ff.; MARTIN/CARL/LEHNERTZ 1993; WEINECK 1994, 23ff.). Als Beispiel für eine empirisch-induktive Beanspruchungsermittlung eignet sich die Dynamik der Herzfrequenz beim Lauftraining als Indikator einer Herz-Kreislauf-Beanspruchung.

6.3 Beanspruchung und Ressourcen

Zum Abschluss dieses Kapitels wird noch der Begriff der „Ressourcen“ in seinem Bezug zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept erläutert. Beanspruchungen wurden bereits während der vierziger Jahre von der Arbeitsgruppe am Dortmunder Kaiser-Wilhelms-Institut für Arbeitspsychologie im Zusammenhang mit Kapazitätsbeschränkungen diskutiert (vgl. SCHÖNPFLUG 1987, 131f.). SCHÖNPFLUG fasst unter dem Begriff der „Ressourcen“ alle „jene Mittel, die der Mensch seiner Belastung entgegensetzen hat“ zusammen (ebd., 151). Beanspruchungen sind dann zu verstehen als Grad der Ausschöpfung vorhandener Ressourcen. Diese Ressourcen können in *innere* und *äußere* Ressourcen sowie *strukturelle* und *konsumptive* Ressourcen untergliedert werden (vgl. SCHÖNPFLUG 1991, 30). Äußere Ressourcen sind alle Helfer und Hilfsmittel in der Umwelt (z.B. das Rennrad), innere Ressourcen die individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten (z.B. die Ausdauerfähigkeit). Während strukturelle bzw. permanente Ressourcen ohne leistungsanalogen Abbau eingesetzt werden können (z.B. motorisches Gedächtnis), unterliegen konsumptive bzw.

transiente Ressourcen einem ihrem Einsatz entsprechenden schnellen Abbau (z.B. energiereiche Phosphate). Werden diese Ressourcen durch eine Belastung beansprucht, so resultiert daraus ein Gebrauch struktureller Ressourcen und ein Verbrauch konsumptiver Ressourcen. Der Einsatz der verschiedenen Ressourcenklassen ist jedoch nicht unabhängig voneinander. So werden unterschiedliche Bewegungstechniken als innere strukturelle Ressourcen z.B. im Eisschnelllauf bei gleicher Laufgeschwindigkeit eine unterschiedliche Ausschöpfung der relevanten Speicher energetischer Substrate erfordern. Unterschiedliche Konstruktionen der Schlittschuhe als äußere strukturelle Ressourcen werden sich sowohl auf die realisierte Bewegungstechnik, als auch auf den Verbrauch der o.g. Substrate auswirken. Äußere Ressourcen spielen in diesem Zusammenhang allein keine Rolle, sondern ausschließlich im Zusammenwirken mit den inneren Ressourcen.

Die inneren Ressourcen können mit den zwischen Belastung und Beanspruchung intervenierenden Variablen im phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (vgl. Abbildung 4) synonym verstanden werden. Da aber auch der Einsatz äußerer Ressourcen, wie oben erläutert, Auswirkungen auf den Einsatz innerer Ressourcen hat, und über diese auf die resultierenden Beanspruchungen, erscheint es geboten, das phänomenorientierte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept um die äußeren Ressourcen zu erweitern (vgl. Abbildung 5).

Die den Ressourceneinsatz regulierende Größe ist das Anspruchsniveau der jeweiligen Person

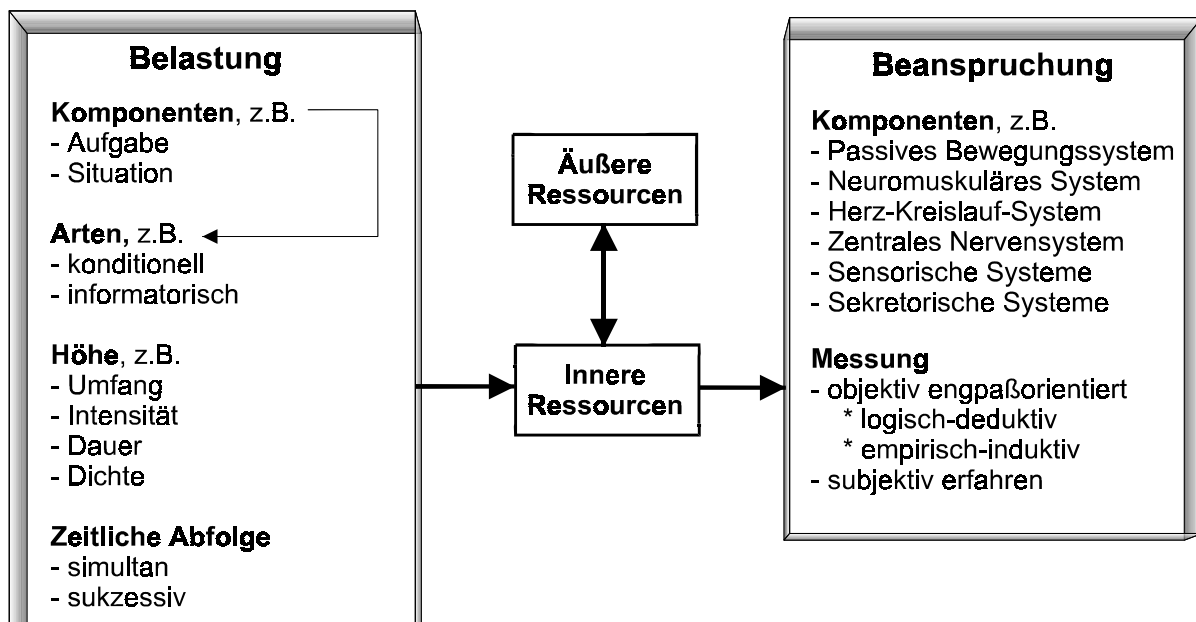


Abbildung 5: Erweiterung des phänomenorientierten Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts um die intervenierende Variable „äußere Ressourcen“ (modif. n ROHMERT 1984, 196 u. OLIVIER 1996a, 43).

(vgl. SCHÖNPFLUG 1991, 31). Dem Sportler stehen zur Bewältigung einer Belastung verschiedene Ressourcen zur Verfügung, deren Einsatz in Abhängigkeit von der jeweiligen Belastung und dem Anspruchsniveau erfolgt. Die resultierenden Beanspruchungen und Leistungen hängen dann von der Relation des Ressourceneinsatzes und den Belastungen ab (vgl. OLIVIER 1996c, 16). Die unterschiedliche Kombinierbarkeit der einsetzbaren Ressourcen und die Veränderbarkeit des Anspruchsniveaus eröffnen somit einen großen Handlungsspielraum für Training und Wettkampf (vgl. SCHÖNPFLUG 1987, 152; 1991, 31; OLIVIER 1996a, 45).

In den vorherigen Kapiteln wurde der Begriff der Ermüdung einer kritischen Analyse unterzogen und zur Bearbeitung meiner Forschungsfrage als unbrauchbar herausgestellt. Vor dem Hintergrund des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts, das sowohl Belastungen differenziert, als auch die aus den entgegensetzenden Ressourcen resultierenden Beanspruchungen weiter unterteilt, erscheint mir die Frage zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die motorische Ausführungsleistung und die motorische Lernleistung differenzierter untersuchbar zu sein.

7 Ein Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung

In Kapitel A5.2 wurden Befunde zum Einfluss von Ermüdung auf die motorische Ausführungsleistung und auf das motorische Lernen diskutiert. OLIVIER (1996a) stellte in einer Analyse dieser Arbeiten drei Aspekte heraus, die negative Aneignungs- bzw. Lerneffekte aufgrund von Ermüdungswirkungen erklären können (vgl. dazu ausführlicher Seite 55). In Kapitel A6.1 wurde „Ermüdung“ als ungeeignetes Konstrukt zur Bearbeitung dieser Forschungsfrage eliminiert und durch das Konstrukt „Beanspruchung“ ersetzt, das im Rahmen des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes einen fruchtbareren Zugang zur Bearbeitung der Thematik dieser Arbeit verspricht.

Die genannten drei Aspekte (vgl. Seite 55) überführte OLIVIER (1994; 1996a) in das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, wodurch jene terminologische und inhaltliche Veränderungen erfuhren. Diese sind dann die drei Faktoren seines Modells zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Ausführungsleistungen bei sportmotorischen Lernprozessen. Das Drei-Faktoren-Modell (OLIVIER 1996a) hat inzwischen Veränderungen erfahren, wodurch sein potentieller Geltungsbereich gegenüber der ursprünglichen Fassung erweitert wurde (vgl. OLIVIER 1997; OLIVIER/AUGSTE/KEIM/KLIPPEL i.V.; siehe Abbildung 6).

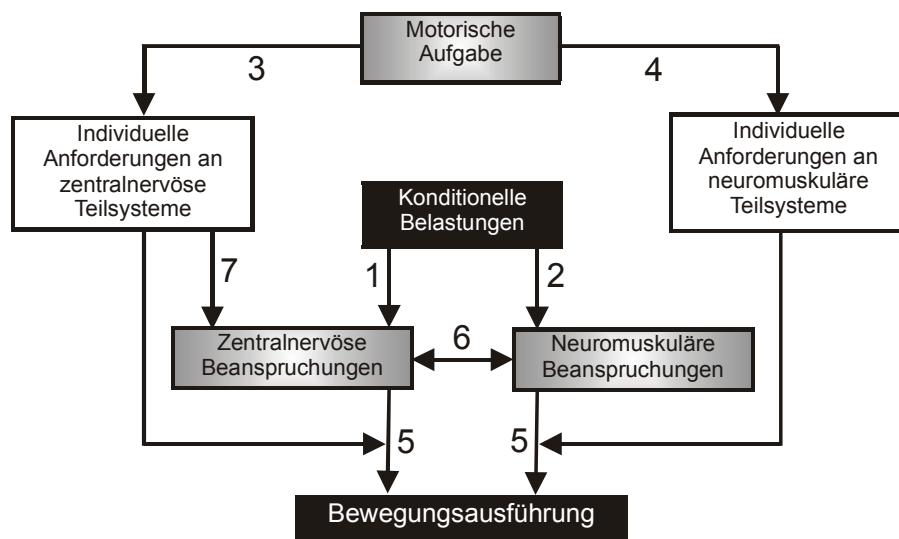


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Drei-Faktoren-Modells zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung (modif. n. OLIVIER 1997, 256).

Eine für unsere Fragestellung nicht ganz unwesentliche Veränderung besteht darin, dass das nun vorliegende Modell den Einfluss konditioneller Belastungen auf die *Bewegungsausführung*

beschreibt, während in der ursprünglichen Fassung der Einfluss auf die Ausführungsleistung, d.h. das *Bewegungsergebnis* beschrieben wurde. Auf diesen Aspekt wird in Kapitel A12 noch einmal näher Bezug genommen. Ich möchte an dieser Stelle zunächst das Modell in seiner aktuellen Fassung kurz vorstellen.

Nach diesem Modell (vgl. Abbildung 6; die im Text folgenden Ziffern beziehen sich auf die Nummerierung in dieser Abbildung) führen konditionelle Belastungen zu zentralnervösen Beanspruchungen (1) und zu neuromuskulären Beanspruchungen (2). Beispiele für zentralnervöse Beanspruchungsgrößen sind das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (AZAN) oder auch die Gehirndurchblutung. Beispiele für induktive neuromuskuläre Beanspruchungsgrößen sind der ATP- und der KP-Gehalt sowie der muskuläre pH-Wert der beanspruchten Muskulatur (als Indikatoren der metabolischen Beanspruchung des neuromuskulären Systems) oder das Elektromyogramm (als Indikator der neuronalen Beanspruchung des neuromuskulären Systems). Das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau stellt eine deduktive neuromuskuläre Beanspruchungsgröße dar. In seiner Veränderung zeigen sich kumulative Effekte der Beanspruchung schnellkraftleistungsbedingender neuromuskulärer Teilsysteme.

Diese beiden Beanspruchungskomponenten – neuromuskuläre und zentralnervöse – wirken sich unter bestimmten Bedingungen auf die Bewegungsausführung aus. Besagte Auswirkung hängt von einem dritten Faktor, den Charakteristika der sportmotorischen (Lern-)Aufgabe, ab. Diese Charakteristika verstehen wir als

„diejenigen Merkmale oder Eigenschaften sportmotorischer Lernaufgaben [...], die je nach ihrem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein (qualitativer Aspekt) bzw. bei Vorhandensein je nach ihrer Ausprägung (quantitativer Aspekt) zu Anforderungen“ (OLIVIER 1996a, 185) an zentralnervöse (3) und neuromuskuläre Teilsysteme (4) führen¹⁴.

Die motorische Aufgabe stellt individuell unterschiedliche Anforderungen an neuromuskuläre und zentralnervöse Teilsysteme, die erfüllt sein müssen, damit über eine entsprechende Bewegungsausführung das antizipierte Bewegungsergebnis erzielt werden kann. Führen die konditionellen Belastungseffekte dazu, dass diese Anforderungen anders als in der

¹⁴ Im Originalbeitrag stellen die Charakteristika der sportmotorischen Lernaufgabe auf dem Hintergrund des ursprünglichen Drei-Faktoren-Modells Anforderungen „an das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau und das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau“ (OLIVIER 1996, 185). Mit der nun vorliegenden allgemeineren Fassung des Drei-Faktoren-Modells ist es notwendig, die Aussage OLIVIERs modellkonform dementsprechend zu verallgemeinern.

unbelasteten Situation erfüllt werden, resultieren daraus entsprechende Effekte auf die Bewegungsausführung (5).

Es muss hier noch auf zwei weitere Sachverhalte eingegangen werden. Zum einen betrifft dies die wechselseitigen Effekte von neuromuskulären und zentralnervösen Beanspruchungen (6). So zeigt sich ein möglicher Einfluss zentralnervöser Beanspruchungen konditioneller Belastungen, die ebenfalls neuromuskuläre Teilsysteme beanspruchen. So wäre beispielsweise die Ursachenzuschreibung erhöhter Reflexaktivitäten nach 100 submaximalen Muskelaktionen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus wie sie GOLLHOFER/KOMI/MIYASHITA/AURA (1987) und GOLLHOFER/KOMI/FUJITSUKA/MIYASHITA (1987) zeigen, und darüber eine Beeinflussung bestimmter Kraftkomponenten, über reflexfördernde Prozesse der *formatio reticularis* via das absteigende System, nicht unplausibel. Andererseits zeigt sich, dass infolge neuromuskulärer Beanspruchungen spezifische Änderungen in EEG-Parametern, also zentralnervöse Beanspruchungen, resultieren (vgl. JOHNSTON/REARICK/SLOBOUNOV 2001; MESTER 1988). Weiterhin muss auch der Einfluss durch die Anforderungen der sportmotorischen Lernaufgabe an zentralnervöse Teilsysteme Berücksichtigung finden (7), wodurch selbstregulatorisch zentralnervöse Beanspruchungen im Sinne einer Feedforward-Regelung induziert werden können. So untersuchten BRACH/SCHUMANN/HECK (1997) die Anforderungen motorischer Aufgaben an das ZNS, konkret die Feedforward-Regelung des Aktivierungsniveaus im Hinblick auf eine Belastung. Sie sprechen in diesem Zusammenhang von „Zweckursachen“ (*causa finalis* im aristotelischen Sprachgebrauch) für die gefundenen Aktivierungsphänomene, im Gegensatz zu „Wirkungsursachen“ (*causa efficiens*), verstanden als die Aktivierungsphänomene, die als Belastungsfolge zu beobachten sind. Diese beiden Begrifflichkeiten möchte ich auch im Fortgang dieser Arbeit zur genaueren Beschreibung auftretender Aktivierungsphänomene verwenden.

Durch die Verallgemeinerung des Modells erfährt die ihm zugrunde liegende Theorie eine Zunahme des empirischen Gehaltes und des Prüfbarkeitsgrades (vgl. POPPER 1994, 86), was aus epistemologischer Sicht zu begrüßen ist. Es fehlt jedoch eine anatomische Abgrenzung hinsichtlich der Begriffe „Neuromuskuläres System“ bzw. „Zentralnervöses System“, was aufgrund der im Modell analytisch getrennt verstandenen Beanspruchungskomponenten erforderlich ist. Auch muss erläutert werden, was unter den jeweiligen Teilsystemen zu verstehen ist. Wir definieren diese Begriffe daher über ihren extensionalen Aspekt (vgl. BREUER 1991, 112):

Das **Zentralnervöse System** umfasst Rückenmark, Medulla oblongata, Pons, Cerebellum, Mesencephalon, Diencephalon und die Großhirnhemisphären (vgl. DE MARÉES/MESTER 1991a, 111; KANDEL/SCHWARTZ/JESSEL 1996, 10).

Das **Neuromuskuläre System** umfasst die aus den Vorderwurzeln des Rückenmarks austretenden Motoneurone, ihre zugehörige motorische Einheit, afferente Nervenfasern aus Muskeln, Sehnen und Gelenken sowie das muskuläre Stoffwechselsystem.

Die Übergangsstelle vom zentralnervösen System zum neuromuskulären System bilden damit die Rückenmarksynapsen. Das Vorderhorn der grauen Substanz (Cornu anterius) bildet den „Ursprung motorischer Tätigkeit“ (FALLER 1988, 322). Hierbei ist allerdings ein wesentlicher Sachverhalt anzumerken. Das neuromuskuläre System umfasst als neuronalen Anteil lediglich Teile (afferente und efferente Bahnen) des peripheren Nervensystems (vgl. hierzu ausführlicher THEWS/MUTSCHLER/VAUPEL 1991, 421ff.). Ausgespart werden hier sämtliche auf zentralnervöser Ebene gelegenen Anteile des motorischen Systems wie beispielsweise motorische Kortexareale, Pyramidenbahn und Basalganglien (vgl. ausführlicher WIESENDANGER 1995, 91ff.). D.h. der Begriff „neuromuskulär“ könnte insofern verwirren, als zwar berechtigt darauf hingewiesen wird, dass Kraftleistungen immer auch von der Ausprägung neuronaler Prozesse abhängen; liegen die betrachteten neuronalen Prozesse allerdings innerhalb des ZNS, spreche ich im Folgenden von zentralnervösen Effekten.

Als Teilsysteme von Zentralnervensystem und neuromuskulärem System sind dann solche Systeme zu verstehen, die folgende Bedingung erfüllen: Ihre Systemgrenzen überschreiten nicht die Systemgrenze des jeweiligen Muttersystems, d.h. alle Komponenten des jeweiligen Teilsystems sind zugleich auch vollständige Komponenten des Muttersystems. Das Muttersystem besitzt allerdings weitere Komponenten, die nicht Komponenten des Teilsystems sind. Das Teilsystem ist somit eine echte Teilmenge des Muttersystems.

Diese Teilsysteme weisen weitere Merkmale auf:

1. Sie besitzen unterschiedliche Komplexität. Auf der mikroskopischen Ebene kann man physiologische Teilsysteme unterscheiden wie z.B. das metabolische System oder das Innervationssystem. Auf einer makroskopischen Ebene zeigt sich, dass sich die Beanspruchungen dieser einfachen Teilsysteme in komplexeren Teilsystemen auswirken können. Ein komplexeres Teilsystem ist z.B. das Schnellkraftniveau, auf dessen Funktionszustand sich Beanspruchungen einfacher Teilsysteme (z.B. Reduktion des KP-Gehalts der Muskulatur) auswirken.

2. Beanspruchungen des jeweiligen Teilsystems sind zugleich Beanspruchungen des jeweiligen Muttersystems (dies gilt nicht zwangsläufig umgekehrt).

In den folgenden Unterkapiteln werden die Faktoren des Drei-Faktoren-Modells einer genaueren Betrachtung unterzogen.

7.1 Die Charakteristika sportmotorischer Lernaufgaben

Dieser Faktor des Drei-Faktoren-Modells unterscheidet sich von den beiden übrigen Faktoren, die Beanspruchungsgrößen im Sinne des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts darstellen. Die Charakteristika stellen individuelle Anforderungen an zentralnervöse und neuromuskuläre Teilsysteme. Die Integration dieses Faktors in das Modell erfolgte aufgrund der Analyse vorliegender Untersuchungen zum Einfluss von Ermüdung auf motorische Lernprozesse. Diese legten nahe, dass die Effekte der Ermüdung von bestimmten Charakteristika der sportmotorischen Lernaufgabe abhängen. So stellt die Bewegungsaufgabe, 100% der individuellen maximalen Sprunghöhe beim counter movement jump zu springen, interindividuell gleiche relative Anforderungen (ich nenne diese Aufgaben „Relativaufgaben“) an das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau der Beinextensoren (ein neuromuskuläres Teilsystem): es muss einen maximalen Funktionszustand aufweisen. Eine vorhergehende konditionelle Belastung, die dazu führt, dass das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau reduziert ist, würde sich dann derart auswirken, dass die Aufgabe nicht mehr erfüllt werden kann. Bestände die Aufgabe darin, genau 30 cm hoch zu springen, wären die Anforderungen an das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau interindividuell absolut gleich (ich spreche hierbei von „Absolutaufgaben“¹⁵): unabhängig von der maximalen Ressourcengröße und in Abhängigkeit vom Körpergewicht müsste ein Kraftstoß einer bestimmten Größe produziert werden, um die Bewegungsaufgabe zu erfüllen. Ist die maximale Ressourcengröße geringer als benötigt, kann die Aufgabe nicht erfüllt werden, ist sie genauso groß oder größer, kann die Aufgabe erfüllt werden. Im letzten Fall könnte eine vorhergehende konditionelle Belastung, die das muskelgruppenspezifische Schnellkraftniveau reduziert, dann dazu führen, dass die Aufgabe, die unbelastet erfüllt werden konnte, nun nicht mehr erfüllt werden kann.

¹⁵ Eine Differenzierung hinsichtlich Relativ- und Absolutaufgaben erfolgt im Drei-Faktoren-Modell nicht, ist jedoch auch nicht erforderlich, da die motorische Aufgabe *individuelle* Anforderungen an die entsprechenden Teilsysteme stellt. Was ich mit dieser künstlichen Unterscheidung hervorheben möchte, ist der Aspekt, dass bei Relativaufgaben bestimmte Ressourcen unabhängig von ihrer absoluten Größe interindividuell relativ gleich beansprucht werden, wohingegen bei Absolutaufgaben von diesen Ressourcen unabhängig von ihrer absoluten Größe interindividuell eine bestimmte absolute Kapazität beansprucht wird. Für die Praxis bedeutet dies, dass für die Realisierung einer Absolutaufgabe in einer Stichprobe höhere Streuungen im Bewegungsergebnis zu erwarten sind.

7.2 Anforderungen an neuromuskuläre Teilsysteme

Verschiedene Charakteristika sportmotorischer Lernaufgaben stellen auf einer qualitativen und auf einer quantitativen Ebene Anforderungen an neuromuskuläre Teilsysteme. Auf der qualitativen Ebene muss dahingehend unterschieden werden, ob die durch die Belastung beanspruchten Muskelgruppen auch für die Bewältigung der Bewegungsaufgabe benötigt werden oder nicht, bzw. ob die zur Belastung führenden Anforderungen der Bewegungsaufgabe die gleichen Muskelgruppen beansprucht wie die konditionelle Belastung oder nicht. So führt beispielsweise ein Kraftausdauertraining mit dem Trainingsinhalt „Springen“ hauptsächlich zu einer Beanspruchung der Beinextensoren. Ein sich an dieses Konditionstraining anschließendes Techniktraining mit der Zielstellung der Verbesserung der Ergebniskonstanz bei einem 3-Punkte-Wurf im Basketball kann entweder aus dem Stand bzw. im Sprung, d.h. im ersten Fall ohne nennenswerte Beanspruchung der Beinextensoren, im letzten Fall mit hoher Beanspruchung der Beinextensoren, durchgeführt werden.

Führen konditionelle Belastung und Anforderungen der motorischen Aufgabe zur Beanspruchung gleicher Muskelgruppen, müssen die Charakteristika auf der quantitativen Ebene weiter differenziert werden. Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Anforderungen unterliegen einem Maximaltrend.

In diesem Fall werden bessere relative Ausführungsleistungen erreicht, je besser der Funktionszustand des relevanten neuromuskulären Teilsystems (oder in anderen Worten: je größer die aktuelle Ressourcenkapazität) bzw. es werden bessere absolute Ausführungsleistungen erreicht, je größer die maximale Ressourcenkapazität bei interindividuell gleichem Funktionszustand ist. So wird z.B. bei einem Training des Tiefstarts mit der Zielstellung, die 5-m-Zeit zu verbessern, jede Veränderung des Schnellkraftniveaus der Beinextensoren zu einer entsprechenden Veränderung der Ausführungsleistung führen (unter sonst gleichen Umständen!). D.h. außerdem, dass zwei Individuen mit unterschiedlichen maximalen Ressourcenkapazitäten genau dann eine gleiche Leistung vollbringen, wenn die Ressourcenkapazität des Individuums mit einer höheren maximalen Ressourcenkapazität z.B. aufgrund einer vorherigen Belastungswirkung derart reduziert ist, dass beide Individuen eine absolut gleiche aktuelle Ressourcenkapazität aufweisen.

2. Die Anforderungen sind submaximal (Relativaufgabe) bzw. unterliegen keinem Maximaltrend (Absolutaufgabe).

Bei der Relativaufgabe kann ein bestimmter submaximaler Funktionszustand des

neuromuskulären Teilsystems zum Erzielen maximaler Ausführungsleistungen ausreichen, d.h. es wird nur ein Teil der maximalen Ressourcenkapazität beansprucht (z.B. 30% der maximalen individuellen Sprunghöhe springen). Für Absolutaufgaben muss diese Unterscheidung folgendermaßen getroffen werden:

- a) Die maximale Ressourcenkapazität ist größer als zur Erfüllung der Aufgabe benötigt: In diesem Fall ist ein submaximaler Funktionszustand des neuromuskulären Teilsystems zur Erfüllung der Aufgabe ausreichend.
- b) Die maximale Ressourcenkapazität ist gerade so groß, dass die Aufgabenanforderung erfüllt werden kann: In diesem Fall ist ein maximaler Funktionszustand des neuromuskulären Teilsystems zur Erfüllung der Aufgabe notwendig.
- c) Die maximale Ressourcenkapazität ist kleiner als zur Erfüllung der Aufgabe benötigt: In diesem Fall ist selbst ein maximaler Funktionszustand des neuromuskulären Teilsystems nicht ausreichend, um die Bewegungsaufgabe zu erfüllen.

7.3 Anforderungen an zentralnervöse Teilsysteme

Für die qualitative Ebene merkt OLIVIER (1996a, 187) an, dass „motorisches Lernen grundsätzlich als an zentralnervöse Informationsverarbeitungsprozesse gebunden verstanden wird“. Daher kann davon ausgegangen werden, dass relevante zentralnervöse Teilsysteme einen minimalen Funktionszustand aufweisen müssen, um motorische Lernprozesse überhaupt erst zu ermöglichen. Damit entfällt für die zentralnervösen Teilsysteme die qualitative Ebene aufgrund nicht vorhandener Variabilität.

Auf der quantitativen Ebene lassen sich in Analogie zu den Anforderungen der motorischen Aufgabe an neuromuskuläre Teilsysteme zwei Möglichkeiten unterscheiden:

1. Die Anforderungen unterliegen einem Maximaltrend, d.h. je höher der Funktionszustand des relevanten zentralnervösen Teilsystems, umso bessere Ausführungsleistungen werden im motorischen Lernprozess erzielt.
2. Ein bestimmter submaximaler Funktionszustand des relevanten zentralnervösen Teilsystems reicht aus, um maximale Ausführungsleistungen zu erzielen (Relativaufgabe) oder die aktuelle Ressourcenkapazität ist ausreichend resp. nicht ausreichend, um die maximale Ausführungsleistung zu erzielen (Absolutaufgabe).

7.4 *Grau ist alle Theorie: Ein praktisches Beispiel*

Um diese bisher sehr theoretische Darstellung zu veranschaulichen, soll exemplarisch die motorische Aufgabe „Sprintstart“ herangezogen werden. Dort werden zunächst die Anforderungen an neuromuskuläre Teilsysteme betrachtet. Die Ausführungsleistung beim Sprintstart kann man über die 5-m-Zeit operationalisieren (vgl. z.B. HESS 1991, 53). Um die Ausführungsleistung zu maximieren, d.h. die 5-m-Zeit zu minimieren, gilt für den Athleten, dass an das Schnellkraftniveau (als relevante biomechanische Einflussgröße der Zielgröße „5-m-Zeit“ und als komplexe neuromuskuläre Beanspruchungsgröße) der Beinextensoren (qualitativer Aspekt) maximale Anforderungen (quantitativer Aspekt) gestellt werden. Die qualitative Ebene differenziert dahingehend, ob die durch eine konditionelle Belastung beanspruchten Muskelgruppen auch bei der Bewältigung der Bewegungsaufgabe benötigt werden. So werden beim Tiefstarttraining hauptsächlich die Beinextensoren beansprucht, ein vorausgegangenes Krafttraining für die Armextensoren sollte sich über neuromuskuläre Beanspruchungen nicht auf die Ausführungsleistung auswirken (wenn man die geringe Einflusshöhe des Armschwunges beim Tiefstart vernachlässigt). Ein solches Training würde sich aber sehr wohl beim Speerwurf negativ auf die Wurfweite auswirken, wenn das Krafttraining zu einer Reduktion des Schnellkraftniveaus der Armextensoren führt. Auf Seiten der zentralnervösen Teilsysteme wäre dann gleichfalls zu klären, an welche Teilsysteme diese Bewegungsaufgabe Anforderungen stellt, und ob diese durch bestimmte Belastungen derart beeinflusst werden können, dass über zentralnervöse Beanspruchungen Auswirkungen auf die Ausführungsleistung resultieren.

8 Konditionelle Belastungen und resultierende Beanspruchungen: Wie beeinflussen sie Bewegungsausführung und Bewegungslernen?

Gemäß dem vorgestellten Drei-Faktoren-Modell bewirken konditionelle Belastungen zentralnervöse und neuromuskuläre Beanspruchungen. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, zu welchen spezifischen Beanspruchungen bestimmte konditionelle Belastungen führen und wie in der Folge die motorische Ausführungsleistung und die motorische Lernleistung hierdurch beeinflusst wird.

8.1 Zentralnervöse Beanspruchungen

Übliche Parameter, die zur Ermittlung zentralnervöser Beanspruchungen herangezogen werden, sind z.B. Größen der Hirndurchblutung und des Hirnstoffwechsels (ermittelt über Positronen-Emissions-Tomographie, PET) oder die Aktivierung spezifischer Gehirnareale (über das Elektroencephalogramm, EEG). Auch das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (AZAN), das über die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) operationalisiert werden kann, ist ein Beanspruchungsparameter, der in zahlreichen Untersuchungen aus dem Bereich des Sports eingesetzt wurde. Es bietet sich für diese Untersuchung an, auf diesen Parameter als zentralnervöse Beanspruchungsgröße zurückzugreifen, da a) eine Beeinflussung motorischer Prozesse durch ein verändertes AZAN plausibel ist (wie in den folgenden Abschnitten aufgezeigt werden soll), b) bereits zahlreiche empirische Befunde aus dem Bereich des Sports vorliegen und außerdem c) das benötigte Messinstrumentarium vor Ort zur Verfügung steht.

8.1.1 Das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (AZAN)

Um zentralnervöse Beanspruchungen greifen zu können, wurde in einer Vielzahl von Untersuchungen aus dem Bereich der Sportwissenschaft (vgl. z.B. BÜSCH 1993; HARIG 1998; OLIVIER 1996a; OLIVIER/BÜSCH/DAUGS 1991; WIEMEYER 1990; im Überblick WIEMEYER/BÜSCH 1992) das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (AZAN) herangezogen. Dieses wird als induktive „zentralnervöse Beanspruchungsgröße verstanden und als tonischer, unspezifischer Erregungszustand neuronaler Strukturen des ZNS definiert“ (OLIVIER 1996a, 48)¹⁶. Der Prozess

¹⁶WIEMEYER (1990, 7) weist daraufhin, dass diesem Funktionszustand von Neuronen eindeutig charakterisierbare neurophysiologische Prozesse zugrunde liegen (vgl. ebd., 11-25).

der zentralnervösen Aktivierung führt allgemein zu einem Anstieg des zentralnervösen Aktivierungsniveaus, zentralnervöse Deaktivierung hingegen zu einem Abfall (vgl. WIEMEYER 1990, 8). Beide Prozesse werden als dynamische Aspekte verstanden. Solche Aktivierungs- bzw. Deaktivierungsprozesse können lokal kleine, aber auch allgemein große Gebiete des ZNS betreffen. Im ersten Fall resultieren spezifische, phasische Aktivierungszustände, im zweiten allgemeine, tonische Aktivierungszustände (vgl. ebd., 9). Das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau ist ein solcher tonischer Aktivierungszustand. Lediglich letztere Aktivierungszustände sollen Gegenstand der weiteren theoretischen Ausführungen sein.

Eine wichtige Rolle bei Aktivierungsprozessen spielt die *formatio reticularis*, eine Neuronenformation, die sich von der *medulla oblongata* bis hin in das rostrale mesencephalon zieht. Auf die Zellen der *formatio reticularis* konvergieren motorische und vegetative Fasern aus allen Sinnessystemen (vgl. BIRBAUMER/SCHMIDT 1991, 496), so dass sie über diese Afferenzen in ihrem Erregungszustand beeinflusst wird. Der rostrale Teil der *formatio reticularis*, das „mesencephale retikuläre Aktivierungssystem“ (MRF bzw. *mesencephalic reticular formation*) wird auch als „aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem“ (ARAS bzw. *ascending reticular activation system*) bezeichnet, das durch diffuse Impulse an die kortikalen Neurone den Grad der unspezifischen tonischen Aktivierung bestimmen soll. Nach diesen, wie OLIVIER (1996) anmerkt, weitgehend akzeptierten Vorstellungen könnten die efferenten und afferenten Impulsströme über das ARAS, die bei der Bewältigung konditioneller Belastungen auftreten, zu einer Veränderung des tonischen, unspezifischen Aktivierungsniveaus der verschiedenen Gebiete des Kortex führen und damit die für das motorische Lernen relevanten Informationsverarbeitungsprozesse beeinflussen.

Die zentralnervösen Aktivierungs- und Deaktivierungsprozesse, die immer einen Neuronenverband betreffen, sind nur über indirekte Indikatoren charakterisierbar. Dies sind synchron zu diesen Prozessen beobachtbare physiologische und psychologische Begleiterscheinungen (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Systematik der Begleiterscheinungen zentralnervöser Aktivierungs- und Deaktivierungsvorgänge sowie die dafür indizierten Messverfahren (modif. nach WIEMEYER 1990, 19ff.).

ZNS	Messverfahren
Bioelektrische Aktivität	EEG, EcoG
Lokaler Metabolismus	PET
Regionaler Blutfluss	Mit Hilfe eines radioaktiven Kontrastmittels (^{133}Xe)
Kognitive Funktionen	Konzentrations-Leistungstest (KLT)
Sensomotorische Funktionen	Reaktionszeit, Schriftprobe
Sensorische Funktionen	Flimmerverschmelzungsfrequenz, Impedanzaudiometrie
Emotionale Funktionen	AZA-Skala, RPE-Skala
Peripherie	Messverfahren
Atmung	Atemfrequenz
Herz-Kreislauf	Herzfrequenz, Blutdruck, Herzminutenvolumen
Elektrischer Hautwiderstand	Hautwiderstandsmessung
Katecholamine	
Muskeltonus	Elektromyographie

In vielen sportwissenschaftlichen Untersuchungen wurde hauptsächlich die Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF, *engl.* CFF, critical flicker fusion) als Indikator des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus herangezogen (vgl. z.B. BÜSCH 1993; GÜNZ 1987; GÜNZ/KUNATH 1984; HARIG 1998; OLIVIER 1996a; OLIVIER/BÜSCH/DAUGS 1991; WIEMEYER 1990; im Überblick WIEMEYER/BÜSCH 1992), da sie, wie BÜSCH (1993, 42) feststellt, „für die experimentelle und anwendungsorientierte Sportwissenschaft [...] einen adäquaten konstrukt- und kriteriumsvaliden Indikator“ zur AZAN-Bestimmung darstellt. Dabei weisen höhere FVF-Werte auf eine Erhöhung des AZAN hin. Die FVF wird als die Frequenz bezeichnet, bei der eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Lichtreizen nicht mehr unterbrochen, sondern kontinuierlich leuchtend wahrgenommen werden (vgl. LUDERER/PILLUNAT/CHRIST/STODTMEISTER 1986, 101). Die Bestimmung der FVF erfolgt über das Meßsystem RZA (räumlich-zeitliches Auswahlverfahren, vgl. zusammenfassend OLIVIER 1996a, WIEMEYER 1996). Neurophysiologische Befunde sowie pharmakologische und elektroenzephalographische (EEG-) Untersuchungen weisen darauf hin, dass die FVF als Indikator des AZAN angesehen werden kann (vgl. OLIVIER/WIEMEYER/DAUGS/ZIPF/BÜSCH 1989).

Die in der Sportwissenschaft durchgeführten FVF-Untersuchungen lassen sich forschungsmethodisch in zwei Klassen einteilen (vgl. WIEMEYER/BÜSCH 1992; WIEMEYER/ZIPF 1990):

- a) Untersuchungen mit der abhängigen Variablen FVF (vgl. Kapitel A8.1.2)
 Fragestellung: Wie wirken sich verschiedene experimentelle Interventionen (z.B. Aufwärmen, konditionelle bzw. koordinative Belastungen) auf die FVF aus?

- b) Untersuchungen mit der unabhängigen Variablen FVF (vgl. Kapitel A8.1.3)

Fragestellung: Wie beeinflusst ein durch die FVF-Messung kontrolliertes AZAN abhängige Variablen (z.B. motorische Ausführungsleistung, motorische Lernleistung)?

8.1.2 Der Einfluss konditioneller Belastungen auf das AZAN

Bis 1990 lagen relativ wenige systematische Untersuchungen zum Einfluss konditioneller Belastungen unterschiedlicher Intensität und Dauer auf das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau vor. Vereinzelt wurde in der Sportmedizin und der Trainingswissenschaft die FVF als Indikator belastungsbedingter organismischer Prozesse herangezogen. Nach konditionellen Belastungen wird in den meisten Fällen von FVF-Anstiegen berichtet. GÜNZ (1987) und GÜNZ/KUNATH (1984) messen die FVF-Dynamik nach Grundlagenausdauer-, Schnelligkeitsausdauer- und spezifischer Kraftbelastung bzw. nach Ausdauer-, Kraft- und Intervallbelastung. Sie ermitteln einen Anstieg der FVF nach Grundlagenausdauer-, Ausdauer und Kraftbelastungen, während sie nach Intervalllauf, Schnelligkeitsausdauer und spezifischer Belastung einen Abfall der FVF registrieren. Der Vergleich leistungstärkerer mit leistungsschwächeren Sportlern zeigt für letztere einen signifikant schnelleren FVF-Anstieg (vgl. GÜNZ/KUNATH 1984, 84). WIEMEYER (1990, 73ff.) unterzog 14 Vpn aus unterschiedlichen Kollektiven einer stufenförmig ansteigenden Fahrradergometerbelastung. Vor und zehn Minuten nach der Belastung wurde die FVF erhoben und mit den ermittelten Maximalwerten von Herzfrequenz, Laktat, relativer Leistung und Belastungszeit korreliert. Dabei zeigten sich positive z.T. signifikante Korrelationen zwischen dFVF (d.i. die Delta-FVF, die Veränderung der FVF gegenüber einer FVF-Baseline) und relativer maximaler Leistung sowie maximaler Laktatkonzentration in der Belastungszeit. Bei einer Einzelfallanalyse fällt auf, dass gerade bei Vpn mit Laktatwerten deutlich über 4mmol/l ein FVF-Anstieg gemessen wird. In einer Untersuchung zur Auswirkung einer stufenförmig ansteigenden Laufbandbelastung bis zur Erschöpfung an 12 Handballspielern der 2. Bundesliga finden WIEMEYER/FROMME/ZIPF (1991) sowohl 5 als auch 15 min nach Ende der Belastung eine signifikant erhöhte FVF, die in beiden Fällen positiv mit der maximalen Blutammoniakkonzentration korreliert ist. In einer weiteren Untersuchung überprüfte WIEMEYER (1990, 86ff.) die Effekte der Belastungsfolge 20-m-Sprint, 300-m-Sprint und 15-Minuten-Lauf auf die FVF, wobei er nach jeder Belastung Herzfrequenz, Blutlaktatkonzentration und FVF erhob. Nach dem 20-m-Sprint kann er keine Veränderung der FVF im Vergleich zum Niveau nach dem Aufwärmen feststellen, nach dem 300-m-Sprint allerdings einen signifikanten Abfall und nach dem 15-Minuten-Lauf einen signifikanten Anstieg gegenüber dem Aufwärmniveau, wobei dieser Anstieg signifikant mit der Blutlaktatkonzentration korreliert ist. In einer Untersuchung zum Einfluss von Intensität und Dauer

fahrradergometrischer Belastungen auf das AZAN testete OLIVIER (1996a, 159ff.) 16 Vpn in einem dreifaktoriellen kompletten Messwiederholungsdesign mit den Faktoren Belastungsintensität (mittlere, submaximale und maximale Herz-Kreislauf-Beanspruchung), Belastungsdauer (10 und 30 Minuten) und Messzeitpunkt (vor der Belastung, direkt nach der Belastung und 10 Minuten nach der Belastung). Er findet einen Anstieg der FVF direkt nach der Belastung nur dann, wenn maximale Belastungsintensitäten erreicht werden. Die Belastungsdauer hat bei dieser Untersuchung keinen Einfluss auf die direkt nach der Belastung zu verzeichnende FVF. Nach einer zehnminütigen Pause zeigt sich bei einer maximalen Belastung von 30 Minuten Dauer zumindest ein tendenziell signifikanter Abfall der FVF, der für eine maximale Belastung von 10 Minuten Dauer nicht zu verzeichnen ist. Bei beiden maximalen Belastungen liegt die FVF nach der Pause allerdings über dem Vorbelastungswert. Als systematische Replikation dieser Untersuchung führte OLIVIER (1996a, 162ff.) eine experimentelle Feldstudie zum Einfluss von Laufbelastungen auf das AZAN durch. 16 Vpn wurden innerhalb eines kompletten Messwiederholungsdesigns mit den Faktoren Belastungsdauer und Messzeitpunkt (die Stufungen der beiden unabhängigen Variablen entsprechen denen des oben vorgestellten Experiments) getestet. Es zeigt sich – unabhängig von der Belastungsdauer – ein signifikanter Anstieg der dFVF vom Messzeitpunkt „vor der Belastung“ zum Messzeitpunkt „direkt nach der Belastung“ und von dort eine signifikante Reduktion der belastungsbedingt erhöhten FVF zum Messzeitpunkt „10 Minuten nach der Belastung“. Für beide Belastungsdauern liegen die FVF-Werte 10 Minuten nach Belastungsende im Bereich der Vorbelastungswerte. Ein Vergleich der fahrradergometrischen Belastungen mit den Laufbelastungen zeigt, dass fahrradergometrische Belastungen im Mittel 10 Minuten nach Belastungsende höhere dFVF-Werte nach sich ziehen als entsprechende Laufbelastungen (vgl. OLIVIER 1996a, 166). HARIG (1998) untersucht in einem kompletten zweifaktoriellen Design mit den Faktoren Messzeitpunkt und Belastungsart (60sekündige fahrradergometrische Belastung mit 150% der Stufentestmaximalleistung; 60sekündige Handkurbelbelastung mit 150% der Stufentestmaximalleistung; zehnminütige Handkurbelbelastung mit 85% der HF_{\max} und die letzten 2 min mit HF_{\max} ; 60sekündige isometrische Wadenbelastung mit 80% der Maximalkraft) den Einfluss dieser Belastungen auf die FVF. Er ermittelt lediglich für die zehnminütige Handkurbelergometerbelastung einen Anstieg der FVF vom Vorbelastungswert zum Wert direkt nach der Belastung. In einer Pilotstudie fand DILLINGER (1996), dass eine Langzeitausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer mit 85% der individuellen anaeroben Schwelle für 90 Minuten zu einer Erhöhung der FVF führt, die auch nach zehn Minuten Pause immer noch nachzuweisen ist.

Es kann festgehalten werden, dass in der Mehrzahl der vorliegenden Untersuchungen FVF-Anstiege infolge einer konditionellen Belastung zu verzeichnen sind, wenn die Belastung eine bestimmte Dauer hat (aufgrund des tonischen Charakters des AZAN) und maximale Belastungsintensitäten vorliegen. Des Weiteren zeigt sich, dass nach solchen FVF-Anstiegen auch nach einer Pause von zehn Minuten die FVF noch über dem Vorbelastungswert liegt.

8.1.3 Der Zusammenhang von AZAN und motorischer Leistung resp. motorischem Lernen

Nachdem in den dargestellten Untersuchungen (Kapitel A8.1.2) der *diagnostische* Stellenwert der FVF aufgezeigt wurde (abhängige Variable FVF), indem über sie auf das AZAN nach bestimmten sportlichen Belastungen geschlossen wurde, soll in diesem Kapitel der *prognostische* Stellenwert der FVF in den Mittelpunkt gerückt werden; gemeint ist die Beeinflussung abhängiger Variablen durch das über die FVF kontrollierte AZAN (unabhängige Variable FVF).

An dieser Stelle muss jedoch festgestellt werden, dass die bisher vorliegenden Untersuchungen keine systematischen Zusammenhänge zwischen einer AZAN-Veränderung und der motorischen Leistung zeigen konnten (vgl. WIEMEYER 1990). Dies bestätigen Ergebnisse von WIEMEYER (1990), aber auch solche der Saarbrücker Arbeitsgruppe (vgl. BÜSCH 1993; HARIG 1993; HARIG 1998; OLIVIER 1996a), die nach deutlichen systematischen AZAN-Veränderungen durch hochintensive Belastungen keine Effekte auf die motorische Leistung und das motorische Lernen finden. So ermittelt HARIG (1998) für das normale beidbeinige und das einbeinige Stehen keinen Effekt eines erhöhten AZAN auf die Gleichgewichtsregulation, beim Stehen unter visueller Deprivation jedoch geht ein belastungsbedingt erhöhtes AZAN mit einer beeinträchtigten Gleichgewichtsregulation einher. OLIVIER (1996) ermittelt für das Erlernen einer Parametrisierungs-Aufgabe (Ansteuern einer bestimmten relativen Sprunghöhe beim counter movement jump) nur geringe AZAN-Anstiege, die zudem die Aneignungs- und Behaltensleistung nicht beeinflussen. Auch die Ergebnisse von WIEMEYER (1990; vgl. dazu ausführlicher Kapitel A8.1.3) sind unsystematisch.

Vor dem Hintergrund des Drei-Faktoren-Modells erklärt OLIVIER (1996) seine Befunde wie folgt:

„Zwar wird das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau durch die experimentellen konditionellen Belastungen nur geringfügig erhöht und beeinflusst Optimierungs- und Transferleistungen nicht. Da die alleinige Bewältigung der Lernaufgaben (ohne konditionelle Belastungen) jedoch keine Regulation des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus im Sinne seiner Erhöhung anzeigt, wird angenommen, daß unter den Bedingungen

beider Lernaufgaben a) die Beziehung zwischen Optimierungs- bzw. Transferleistung und dem allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveau keinem Maximaltrend unterliegt und b) seine Mindesthöhe zum Erzielen maximaler Optimierungs- bzw. Transferleistungen schon erreicht war“ (OLIVIER 1996a, 262).

In diesen Untersuchungen konnte somit kein Zusammenhang zwischen AZAN und motorischer Leistung resp. motorischem Lernen aufgezeigt werden. Wie dies speziell für trefferorientierte Wurfbewegungen aussieht, wird in Kapitel A13.2 beleuchtet.

8.2 Neuromuskuläre Beanspruchungen

Konditionelle Belastungen können unterschiedliche neuromuskuläre Teilsysteme beanspruchen. Diese Beanspruchungen lassen sich über geeignete Beanspruchungsgrößen beschreiben (vgl. A8.2.1). Wie sich die Beanspruchungen sodann auf die motorische Ausführungsleistung und das motorische Lernen auswirken, wird in Kapitel A8.2.2 diskutiert.

8.2.1 Der Einfluss konditioneller Belastungen auf neuromuskuläre Teilsysteme

Die Effekte konditioneller Belastungen auf das neuromuskuläre System zeigen sich grundsätzlich in der Beanspruchung zweier Teilsysteme: In der des Metabolismus, d.h. in biochemischen Veränderungen, und in der des Innervationsgeschehens, d.h. in neuronalen Veränderungen. Wie die konditionelle Belastung diese beiden Teilsysteme beansprucht, hängt aber auch mit der Muskelfaserstruktur der beanspruchten Muskulatur zusammen. Zunächst sollen induktive neuromuskuläre Beanspruchungsgrößen dargestellt werden.

BIGLAND-RITCHIE (1981) lokalisiert acht verschiedene Stellen innerhalb des neuromuskulären Systems, an denen konditionelle Belastungen zu nachweisbaren Effekten führen können:

1. Erregung des motorischen Kortex
2. Erregungsübertragung auf niedrige Motoneurone
3. Erregbarkeit der Motoneurone
4. Neuromuskuläre Übertragung
5. Erregbarkeit der Muskelfasermembran
6. Elektromechanische Kopplung
7. Kontraktionsmechanismus
8. Metabolische Energieversorgung

Aus konditionellen Belastungen resultierende Veränderungen an den Stellen 1 bis 3 werden der Definition zufolge (vgl. A7) als zentralnervöse Beanspruchungen verstanden, wobei die Erregung der Motoneurone als Übergang zwischen zentralnervösem und neuromuskulärem System gesehen werden kann. Beanspruchungsbedingte Veränderungen an diesen Stellen werden üblicherweise mit dem Begriff der zentralen Ermüdung belegt (vgl. dazu z.B. DAVIS/BAILEY 1997). Beanspruchungsbedingte Veränderungen an den Lokalisationsstellen 4 bis 8 werden in der fatigue-Forschung als periphere Ermüdung bezeichnet. OLIVIER (1996a, 70ff.) analysiert vorliegende Befunde hierzu. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Als Beanspruchungsphänomene im Bereich der **neuromuskulären Übertragung** werden drei mögliche Effekte genannt (vgl. ULMER 1995, 688): synaptische Ermüdung (Erschöpfung der Azetylcholindepots in der motorischen Endplatte), subsynaptische Ermüdung (abnehmende Empfindlichkeit der subsynaptischen Membran gegenüber Azetylcholin) und präsynaptische Ermüdung (Leitungsblockade im efferenten Nerven). Zumindest für isometrische Kontraktionen scheint jedoch keine Beeinträchtigung der neuromuskulären Übertragung feststellbar.
2. Die reduzierte **Erregbarkeit der Muskelfasermembran** wird als eine Ursache der sogenannten Hochfrequenz-Ermüdung angesehen („high frequency fatigue“), die nach externer Stimulation des Nerven mit hohen Frequenzen (ca. 80/sec) zu schnellen Kraft- und EMG-Abnahmen führt. Dies wird mit einer Elektrolytverschiebung der Kationen Na^+ und K^+ an der Muskelfasermembran in Verbindung gebracht (vgl. BIGLAND-RITCHIE/BELLEMARE/WOODS 1986; EDWARDS 1981). Unter physiologischen Aktivierungsbedingungen werden die Prozesse, die zu einer high frequency fatigue führen, vermieden. Nach einer Abnahme der Erregungsfrequenzen infolge maximaler willkürlicher Kontraktionen kann allerdings auch mittels supramaximaler Elektrostimulation des motorischen Nerven kein Kraftzuwachs herbeigeführt werden, was BIGLAND-RITCHIE/BELLEMARE/WOODS (1986) zu der Annahme verleitet, dass bei einer MVC trotz verringerter Erregungsfrequenz alle motorischen Einheiten voll aktiviert werden. Die Reduktion der anfänglich höheren Erregungsfrequenz sehen sie in zweierlei Hinsicht als vorteilhaft an: Einerseits wirkt dies dem Risiko einer beeinträchtigten neuromuskulären Übertragung und Membranerregbarkeit entgegen, andererseits wird über die dadurch mögliche Aufrechterhaltung der Frequenzkodierung die Regulation der Kraft und damit die motorische Kontrolle gesichert. Dieser Sachverhalt kann als Anpassung motorischer Kontrollprozesse an eine konditionelle Belastung gesehen werden. Da BIGLAND-RITCHIE/BELLEMARE/WOODS (1986, 206) bisher keine Evidenz dafür sehen,

dass Beeinträchtigungen der Erregungsweiterleitung spontan während wie auch immer gearteter *willkürlicher* Muskelaktionen auftreten, kann festgehalten werden, dass belastungsbedingte Veränderungen, die zu einer reduzierten Erregbarkeit der Muskelfasermembran führen, unter physiologischen Aktivierungsbedingungen ausgeschlossen werden können.

3. Auf eine Beeinträchtigung der **elektromechanischen Kopplung** (hierunter versteht man sämtliche Prozesse von der Erregung der Zellmembran bis zur Freisetzung von Ca^{2+} , vgl. RÜEGG 1995, 72) wird das Phänomen der „low frequency fatigue“ zurückgeführt (vgl. BIGLAND-RITCHIE/BELLEMARE/WOODS 1986; EDWARDS 1981). Die Ursachen hierfür werden in einem reduzierten Ca^{2+} -Ausstrom oder einer beeinträchtigten Erregungsleitung durch die transversalen Tubuli gesehen (vgl. EDWARDS 1981, 8). Der daraus resultierende geringere Kraftwert ist zu beobachten, wenn der Muskel nach hohen Belastungen mit niedrigen Frequenzen (ca. 20/sec) erregt wird, wohingegen bei MVCs und supramaximaler Nervenstimulation nach diesen Belastungen der anfängliche Kraftwert schnell wieder erreicht wird.

4. Zu Veränderungen im Bereich der **metabolischen Energieversorgung** existiert eine Vielzahl von Befunden, die mittels Biopsie-Technik bzw. Kernspintomographie- (nuclear magnetic resonance, NMR) Untersuchungen gewonnen wurden. Als abhängige Variablen fanden vornehmlich der ATP- und KP-Gehalt der Muskulatur, der intrazelluläre pH-Wert, sowie darauf basierend die Änderung der freien Energie der ATP-Hydrolyse und der ATP-Gesamtumsatz Berücksichtigung. Einen ausführlichen Überblick über die aktuelle Befundlage gibt OLIVIER (1996a, 75ff.). Im Folgenden sollen lediglich die wichtigsten Befunde zusammenfassend aufgezählt werden.

Es kann festgestellt werden, dass der muskuläre **ATP**-Gehalt infolge einer konditionellen Belastung mit höherer Belastungsintensität stärker reduziert wird (vgl. KARLSSON 1971). Der geringste ATP-Gehalt wurde nach Intervallbelastungen gemessen (vgl. SALTIN/ESSEN 1971). Resyntheseeffekte können bei starker ATP-Reduktion auch nach fünfminütiger Pause nicht festgestellt werden (vgl. VANDENBORNE/MCCULLY/KAKIHIRA u.a. 1991), bei Intervallbelastungen ist bei Pausendauern unter einer Minute ebenfalls kein Resyntheseeffekt festzustellen (vgl. SALTIN/ESSEN 1971). Reduktionen des ATP-Gehalts auf 40% des Ruhewertes bei Belastungen, die zu KP-Werten nahe Null führen, zeigen jedoch, dass selbst bei Maximalbelastungen ein relativ intakter ATP-Speicher vorliegt (vgl. HULTMAN/BERGSTRÖM/MCLENNAN ANDERSON 1967). Die Auffassungen bezüglich des Zusammenhangs von ATP-Gehalt und produzierter Kraft sind jedoch uneinheitlich.

Auch der **KP**-Gehalt der Muskulatur ist grundsätzlich abhängig von der Belastungsintensität, wobei sich bezüglich dieses Metaboliten bereits bei mittleren Intensitäten eine starke Reduktion des muskulären Gehalts feststellen lässt (vgl. HULTMAN/BERGSTRÖM/MCLENNAN ANDERSON 1967); bei erschöpfenden Belastungen wird von Reduktionen des KP auf 16% des unbelasteten Referenzwertes berichtet (vgl. HARRIS/EDWARDS/HULTMAN u.a. 1976). Für das KP zeigt sich die stärkste Reduktion ebenfalls nach Intervallbelastungen (vgl. SALTIN/ESSEN 1971). Für die Resynthese wird von einem zweiphasigen Erholungsverlauf berichtet, der aus einer schnellen initialen und einer langsameren Regenerationsphase besteht (vgl. HARRIS/EDWARDS/HULTMAN u.a. 1976; VANDENBORNE/MCCULLY/KAKIHARA u.a. 1991). Die vollständige KP-Resynthese wird in der Literatur mit 20 min angegeben. Als möglichen limitierenden Faktor der KP-Resynthese wird die Verfügbarkeit von ATP während der Erholungsphase diskutiert. Bemerkenswert ist an dieser Stelle, dass „the present time courses of PC resynthesis resemble those of maximum strength recovery in man following exhaustive exercise“ (HARRIS/EDWARDS/HULTMAN u.a. 1976, 141).

Bei hohen Belastungsintensitäten wird durch die Glykolyse bereits nach wenigen Sekunden Laktat gebildet, das sich im Muskel anhäuft. Dies ist Anzeichen einer hohen ATP-Spaltungsrate (ATP-Hydrolyse), bei der H^+ -Ionen anfallen, die nicht alle abgepuffert werden können. Der geringe Teil ($< 0,001\%$), der als freie Kationen auftritt, führt schließlich zu einer Reduktion des **pH-Wertes** (der Muskel „übersäuert“). Diese wirkt sich auf zahlreiche relevante Teilprozesse aus (vgl. im Überblick OLIVIER 1996a, 82f.; SAHLIN 1986). Nach erschöpfenden Belastungen wird mittels Muskelbiopsie ein Abfall des unbelasteten Referenzwertes (pH 7,4) auf pH 6,41-6,46 (Muskel-pH, total) ermittelt. Von mehreren Autoren wird das Erreichen des Ausgangswertes nach 20 Minuten berichtet.

Wie oben beschrieben, können konditionelle Belastungen an unterschiedlichen Orten des motorischen Systems zu induktiv ermittelten Beanspruchungen führen, die Fluktuationen im neuromuskulären System hervorrufen können. Zufällige Fluktuationen (also Rauschen) in den verschiedenen neuromuskulären Mechanismen sind jedoch auch in unbelastetem Zustand zu beobachten (vgl. NEWELL/CORCOS 1993a, 4).

Zuletzt soll noch eine Untersuchung vorgestellt werden, die eine deduktive neuromuskuläre Beanspruchungsgröße zur Beanspruchungsmessung heranzieht. In dieser Untersuchung von OLIVIER (1996) wurde überprüft, wie sich eine Fahrradbelastung unterschiedlicher Dauer und Intensität auf die Reduktion und den Erholungsverlauf des muskelgruppenspezifischen Schnellkraftniveaus auswirkt (operationalisiert über die maximale Sprunghöhe bei einem counter movement jump). Er induzierte hierzu eine Kurzzeitausdauerbelastung, eine

Mittelzeitausdauerbelastung, eine submaximale Langzeitausdauerbelastung und eine maximale Langzeitausdauerbelastung. Infolge der Kurzzeitausdauerbelastung zeigen sich die stärksten Reduktionen in der Sprunghöhe (61,3% des Ausgangsniveaus). In der zehnminütigen Nachtestphase zeigt sich, dass bis auf eine Vp alle Probanden wieder 90% der Vortestleistung erbringen. Für die Mittelzeitausdauerbelastung zeigen sich tendenziell die gleichen Befunde. Für die maximale Langzeitausdauerbelastung zeigt sich ebenfalls eine Reduktion der Sprunghöhe nach Belastung (80,3%), wohingegen infolge der submaximalen Langzeitausdauerbelastung eine Steigerung der Sprunghöhe gegenüber dem Vortest-Wert festgestellt werden kann (104,4%). Für die maximale Langzeitausdauerbelastung kann wieder ein Erholungsverlauf im Nachtest-Intervall festgestellt werden, bei der submaximalen Belastung zeigt sich in dieser Phase kein Unterschied zur Kontrollbedingung.

An dieser Stelle kann konstatiert werden, daß konditionelle Belastungen an verschiedenen Stellen des neuromuskulären Systems zu Beanspruchungen führen können, die sich über induktive oder deduktive Beanspruchungsmeßgrößen ermitteln lassen.

8.2.2 Der Zusammenhang von neuromuskulären Beanspruchungen und motorischer Leistung resp. motorischem Lernen

Dass neuromuskuläre Beanspruchungen die motorische Leistung und das motorische Lernen beeinflussen können, zeigen zahlreiche Experimente aus der angloamerikanischen „fatigue“-Forschung. Dies wurde bereits ausführlich in Kapitel A5.2.2 ausgeführt (einen zusammenfassenden Überblick findet man bei OLIVIER 1991; 1996a). Die Befunde aus den beschriebenen Experimenten sind jedoch sehr widersprüchlich, was auf verschiedene Gründe zurückzuführen ist, die bereits in Kapitel A5.2.2 erläutert wurden (dies betrifft vorrangig die beanspruchten Muskelgruppen und die induzierte Belastung). Dennoch liegen mehr Befunde vor, die nahe legen, daß infolge konditioneller Belastungen resultierende neuromuskuläre Beanspruchungen lediglich die Aneignungs-, nicht aber die Lernleistung reduzieren (vgl. z.B. ALDERMANN 1965; CARRON 1969; DICKINSON/MEDHURST/WHITTINGHAM 1979; SCHMIDT 1969; WHITLEY 1975). Die wenigen Befunde, die Aneignungs- und Lernleistung beeinträchtigt sehen, weisen dabei z.T. methodische Schwächen auf (z.B. GODWIN/SCHMIDT 1971). Ich möchte an dieser Stelle daher zusätzlich in kurzer Form Untersuchungen anführen, die – entsprechend dem Drei-Faktoren-Modell (OLIVIER 1996a; 1997) und vor dem Hintergrund des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts – neuromuskuläre Beanspruchungen in den für die Bewegung spezifischen Muskelgruppen induzieren, und die deren Auswirkungen auf Aneignungs- und Lernleistung überprüfen.

In einer Untersuchung überprüfte OLIVIER (1996a) den Effekt neuromuskulärer Beanspruchungen (induziert über eine Mittelzeitausdauer- bzw. Kurzzeitausdauerbelastung) auf das Optimieren einer Sprungbewegung. Die Belastungen wurden jeweils vor den Optimierungsserien gesetzt. Die Anforderung der motorischen Aufgabe an neuromuskuläre Teilsysteme wurde so variiert, dass entweder 40% oder 90% der individuellen maximalen Sprunghöhe angesteuert werden sollten. Für die 40%-Aufgabe zeigte sich infolge der Belastung kein Unterschied des absoluten Fehlers zu einer Kontrollbedingung, für die 90%-Aufgabe zeigte sich hingegen, dass der absolute Fehler gegenüber der Kontrollbedingung erhöht ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Vpn die anzusteuern Sprunghöhe aufgrund eines aktuell reduzierten Schnellkraftniveaus der Beinextensoren „unterschießen“. Trotz dieser reduzierten Aneignungsleistung bei der 90%-Aufgabe zeigte sich jedoch gegenüber der 40%-Aufgabe zu einem späteren Behaltenstest in unbelastetem Zustand keine verminderte Lernleistung. DILLINGER (1997) untersuchte den Einfluss einer spezifischen Sprungbelastung, die zu einer Reduktion des Schnellkraftniveaus der Beinextensoren führt, auf die Aneignungsleistung (operationalisiert über die 5m-Zeit) beim Training des leichtathletischen Tiefstarts. Diese Belastung, die mit den Beinextensoren die für den Tiefstart spezifische Muskelgruppe beansprucht, wurde vor dem Absolvieren der Tiefstart-Serien bis zum erschöpfungsbedingten Abbruch induziert. Er konnte zeigen, dass infolge der resultierenden neuromuskulären Beanspruchung die Aneignungsleistung vermindert ist (die 5m-Zeit ist also im Vergleich zu einer unbelasteten Kontrollbedingung erhöht). Auch in dieser Untersuchung ist die Lernleistung, die zu einem gesonderten Behaltenstest in unbelastetem Zustand ermittelt wurde, trotz verminderter Aneignungsleistung, nicht reduziert. Schließlich konnte HARIG (1998) die negativen Effekte neuromuskulärer Beanspruchungen auf die Gleichgewichtsregulation unter verschiedenen Anforderungen der motorischen Aufgabe nachweisen (über diese Untersuchung wurde bereits in Kapitel A3.3.2.2 ausführlicher berichtet).

Diese Befunde zeigen, dass neuromuskuläre Beanspruchungen in Abhängigkeit von ihrer Höhe und den Anforderungen der Aufgabe geeignet sind, die motorische Leistung zu beeinflussen. Motorische Lernprozesse sind jedoch – trotz verminderter Aneignungsleistung – in den bisher durchgeführten Untersuchungen zum Drei-Faktoren-Modell nicht beeinträchtigt. Dieser Befund wird auch von zahlreichen Arbeiten aus der angloamerikanischen Forschungsrichtung gestützt, trotz der teilweise zu berücksichtigenden methodischen Schwächen. Dies deutet insgesamt darauf hin, dass das prozessuale Geschehen (lernrelevante Informationsverarbeitungsprozesse) vom peripheren Geschehen (neuromuskuläre Beanspruchungen) unabhängig ist.

9 Die Kriteriumsaufgabe:

„Trefferorientierte Wurfbewegungen“

Zunächst einmal ist es geboten, die wesentlichen Anforderungen an solche Aufgaben zu diskutieren, die zur Untersuchung der Frage der Ergebniskonstanz herangezogen werden können. Sodann soll gezeigt werden, dass trefferorientierte Wurfbewegungen diese Kriterien erfüllen und somit prinzipiell zur Bearbeitung der Forschungsfrage zu den Effekten konditioneller Belastungen auf die Ergebniskonstanz geeignet sind. Anschließend soll dargestellt werden, welche Faktoren zu einer Veränderung der Leistung bei solchen Aufgaben beitragen.

9.1 Die Anforderungen an die zu untersuchende Bewegung

MÜLLER (2000, 65ff.) nennt vier Anforderungen, die zur adäquaten Bearbeitung von Fragen zu „Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz“ erfüllt sein müssen. Zunächst weist er anschaulich darauf hin, dass man bei Aufgaben, bei denen Ergebniskonstanz eine Rolle spielt, zunächst an derartige Aufgaben denkt, bei denen sich zu einem definierten Zeitpunkt ein bestimmtes Körperteil oder ein manipulierter Gegenstand an einem festen Ort im Raum befinden soll. Als mögliche zusätzliche Anforderung nennt MÜLLER (ebd., 65), dass dabei auch zusätzlich ein bestimmter Bewegungszustand im Endpunkt gefordert sein kann. Ein solches Tripel aus Orts-, Zeit- und Bewegungsparameter definiert dann das *Ziel* der Bewegung. Das Erreichen eines solchen kinematischen Bewegungsergebnisses wird häufig *Treffer* genannt, so dass MÜLLER (ebd., 65) in diesem Zusammenhang solche Bewegungen entsprechend als „*trefferorientiert*“ bezeichnet.

Das besondere Interesse der hier aufgeworfenen Forschungsfrage gilt dem Zusammenhang von Ausführungs- und Ergebnisvariabilität unter Belastungseffekten, wobei hier mit trefferorientierten Wurfbewegungen eine Aufgabenklasse der Betrachtung unterzogen werden soll, bei der das angestrebte Bewegungsergebnis (Ziel) und die Bewegungsausführung auf der gleichen Ebene, in diesem Fall der kinematischen, beschrieben werden können.

Zur adäquaten Bearbeitung der Forschungsfrage nennt MÜLLER (2000, 66f.) folgende vier Anforderungen (A1 bis A4):

A1. Die möglichst exakte Definition der Bewegungsaufgabe.

Diese Anforderung ergibt sich aus dem Bestreben, den Rauschanteil an der

Variabilität stärker in den Vordergrund der Untersuchung zu stellen. Anpassungen als zweiter Variabilitätsanteil können sich durch Unterschiede in der Ausgangssituation ergeben (im Sinne einer „antizipativen“ Variabilität). Dem kann durch eine exakte Definition der Bewegungsaufgabe entgegen getreten werden.

A2. Kontrolle der Ausgangsbedingungen.

Auch diese Anforderung muss erfüllt werden, um die unter Punkt 1 genannten adaptiven Variabilitätsanteile zu reduzieren.

A3. Kurze Bewegungszeiten.

Anpassungen als zweiter Variabilitätsanteil können sich auch als Reaktion auf Abweichungen ergeben, die während des Bewegungsverlaufs in der Umwelt oder im Bewegungsverlauf selbst auftreten („reaktive“ Variabilität). Solche Anpassungen können allerdings nur dann erfolgen, wenn ausreichend Zeit zur Verfügung steht. Die Mindestzeit zur Korrektur ist dabei u.a. von den registrierenden Rezeptoren abhängig. MÜLLER (2000, 66) gibt einen Überblick über vorliegende Untersuchungen. So werden beispielsweise Zeiten von 25 – 35 msec für eine erste nicht modulierbare Reaktion im EMG genannt (vgl. SMEETS/ERKELENS/DERNIER VAN DER GON 1995). Korrekturen aufgrund visueller Information benötigen laut CARLTON (1992) ca. 135 msec, bis erste erkennbare Veränderungen in der Kinematik feststellbar sind. Doch selbst wenn es gelänge, aus solchen Zahlen aufgabenbezogen eine Zeitschranke zu finden, unterhalb derer keine sensorisch vermittelte Rückmeldung mehr möglich ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass dennoch Korrekturen aufgrund interner Rückkopplungsschleifen im Kleinhirn, in denen eine Efferenzkopie ausgewertet wird, vorgenommen werden. Dies ermöglicht Korrekturen noch bevor äußere Rückmeldungen einlaufen. Die Angabe einer aufgabenübergreifenden exakten Grenze ist, wie MÜLLER (2000, 66) anmerkt, nicht zwingend erforderlich. Ich schließe mich an dieser Stelle der Annahme MÜLLERS an (ebd.), dass mit kürzeren Bewegungszeiten weniger Korrekturen der Bewegungsausführung möglich sein sollten. Mit der Bevorzugung zeitlich kurzer Bewegungen kann der Schwerpunkt derart gelegt werden, dass Anpassungen in Form von Korrekturen nicht im Mittelpunkt stehen, wenngleich es auch nicht gelingen wird, diese vollständig auszuschließen.

A4. Kenntnis des Zusammenhangs.

Um Ausführungs- und Ergebnisvariabilität in eine quantitative Relation zu stellen, ist es zunächst von Vorteil, beide auf der gleichen Beschreibungsebene (in dieser

Untersuchung wird dies die kinematische Ebene sein) zu erfassen. Als zusätzliche Voraussetzung für einige der verwendeten Berechnungsverfahren (vgl. Kapitel B1.1) ergibt sich, dass man die rechnerische Beziehung, die zwischen den Ausführungs-beschreibenden Größen und den Ergebnis-beschreibenden Größen besteht, kennen muss. Dies bedeutet, dass z.B. für einen Basketballwurf aus dem Geschwindigkeitsvektor im Abflug und den Raumkoordinaten des Balles beim Abflug das Ergebnis (Treffer oder Nichttreffer) berechnet werden kann.

Die von MÜLLER (2000, 66f.) aufgezählten Anforderungen (A1 bis A4) werden durch trefferorientierte Wurfbewegungen allesamt erfüllt (vgl. ebd., 67):

- Das Ziel ist definiert als die angestrebte Position des Wurfobjektes am Ende des Wurfs (A1).
- Die Ausführungsbedingungen lassen sich meist relativ genau kontrollieren (A2).
- Da Wurfbewegungen in der Regel weniger als 400 msec dauern (vgl. ATWATER 1979), sind sie – bezogen auf die oben angeführten Zeitschranken – als relativ kurz anzusehen (A3).
- Die rechnerische Beziehung zwischen Ausführungs- und Ergebnisgrößen ist, von gewissen Einschränkungen abgesehen, bekannt (A4). Möglich ist dies, weil Würfe neben der Kontaktphase auch noch eine Flugphase besitzen, während der das Wurfobjekt, unbeeinflusst vom Werfer, klassischen physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgt. Beschreibt man die Ausführung lediglich über Bewegungsparameter im Abwurfzeitpunkt, so kann man das Bewegungsergebnis berechnen. Die erwähnten Einschränkungen beziehen sich auf Vereinfachungen, die bei der physikalischen Modellierung vorgenommen werden müssen, wie z.B. die Vernachlässigung der Luftreibung.

Bei der Zusammenstellung vorliegender empirischer Befunde wird das Hauptaugenmerk auf trefferorientierte Wurfbewegungen gelegt, da diese Bewegungsaufgabe aufgrund der dargelegten besonderen Eignung zur Bearbeitung dieser Forschungsfrage herangezogen wird. Zunächst soll jedoch ein kurzer Exkurs erfolgen, der über die Biomechanik des Wurfes Auskunft geben soll.

9.2 Zur Biomechanik der Wurfbewegung

Wurfbewegungen sind integraler Bestandteil in vielen unterschiedlichen Sportarten und Disziplinen. Aus intentionaler Sicht können Wurfbewegungen im Sport nach zwei Kategorien

klassifiziert werden, wobei diese kategorisch unterschiedlichen Wurfbewegungen aufgrund ihrer physikalisch-biomechanisch differenten Eigenschaften verschiedene Anforderungen an das motorische System stellen, somit also zwei unterschiedliche Leistungen des motorischen Systems darstellen (vgl. auch LOHR 1960, 235). Diese unterschiedlichen Kategorien sind:

- a) Trefferorientierte Wurfbewegungen (z.B. Korbwurf im Basketball, Dartwurf)
- b) Weitenorientierte Wurfbewegungen (z.B. die leichtathletischen Würfe)

In diesem Abschnitt sollen biomechanische Kennwerte der Wurfbewegung dargestellt werden. Zunächst werden hierzu die relevanten kinematischen Größen dargestellt, da die Bearbeitung der Forschungsfrage anhand kinematischer Größen erfolgt. Aus dieser Darstellung sollen sodann die Anforderungen an die zugrundeliegenden dynamischen Größen in Kürze aufgearbeitet und der Vollständigkeit halber dargestellt werden.

9.2.1 Die kinematische Betrachtungsebene

Der raum-zeitliche Verlauf eines Wurfobjektes (z.B. Ball, Dartpfeil) ist nach dem Loslasszeitpunkt aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten der klassischen Mechanik unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes durch sechs Parameter eindeutig determiniert. Diese sind:

- a) Die drei Parameter des **Loslasspunktes im Raum** P_0 , beschrieben über die räumlichen Koordinaten x_0, y_0, z_0 des Wurfgerätes zum Zeitpunkt des Loslassens, im Folgenden bezeichnet als $P_0(x_0, y_0, z_0)$, wobei z die vertikale Komponente beschreibt,
- b) die **Abfluggeschwindigkeit** v_0 des Wurfobjektes zum Zeitpunkt des Loslassens,
- c) der **Loslasswinkel** α **in der Vertikalebene** (Neigungswinkel) und
- d) der **Loslasswinkel** β **in der Horizontalebene** (Laterale Abweichung).

Aus physikalischer Sicht spricht man bei der aus diesem 6-Tupel $(x_0, y_0, z_0, v_0, \alpha, \beta)$ resultierenden Flugbahn von einem schiefen Wurf (siehe dazu und zu folgenden physikalischen Ausführungen z.B. GERTHSEN 1995, 16; HALLIDAY/RESNICK 1993, 62ff.). Dieser beschreibt unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes eine parabolische Kurve. Mit dem Zeitpunkt des Loslassens ist die Wurfebene und die Wurfparabel eindeutig festgelegt.

Es sei der Loslasspunkt $P_0(x_0, y_0, z_0)$ der Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems, dann lassen sich – in Abhängigkeit von der Zeit – die Wegkomponenten x, y, z des

Flugobjektes zu jedem beliebigen Zeitpunkt unabhängig nach folgenden Gleichungen berechnen:

Gleichung A 9.1
$$z = z_0 + (\sin \alpha) v_0 t - \frac{g}{2} t^2$$

Gleichung A 9.2
$$y = y_0 + (\sin \beta) v_0 t$$

Gleichung A 9.3
$$x = x_0 + (\cos \alpha) v_0 t$$

mit der konstanten Erdbeschleunigung $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ und der Flugzeit t [sec]. Gleichung A 9.1 und Gleichung A 9.3 liefern uns x und z als Funktion des gemeinsamen Parameters t . Durch Gleichsetzen der beiden Gleichungen eliminieren wir t und erhalten somit:

Gleichung A 9.4
$$z_{(x)} = z_0 + (\tan \alpha_0) x - \frac{g}{2(v_0 \cos \alpha_0)^2} x^2$$

Auf gleiche Weise lassen sich Gleichung A 9.2 und Gleichung A 9.3 kombinieren, so dass folgende Gleichung resultiert:

Gleichung A 9.5
$$y_{(x)} = y_0 + (\sin \beta_0) x$$

Mittels der Gleichungen A 9.1 bis A 9.3 ist es dann möglich, zu jedem beliebigen Zeitpunkt des Fluges die räumlichen Koordinaten des Wurfobjektes und damit seine determinierte Lage im Raum zu berechnen. Zeitunabhängig können mittels Gleichung A 9.4 und Gleichung A 9.5 bzw. entsprechender Gleichungstransformationen für eine gegebene Raumkoordinate (z.B. x) die beiden zugehörigen Raumkoordinaten (z.B. y und z) ebenfalls berechnet werden.

Bei einem gegebenen Zielpunkt im Raum $P_Z(x_z, y_z, z_z)$ wird immer genau dann ein Treffer erzielt, wenn für die Gleichungen A 9.1, A 9.2 und A 9.3 zu einem bestimmten Zeitpunkt $t_{(c)}$ der Flugbahn gilt:

Gleichung A 9.6
$$z_{t_{(c)}} = z_0 + (\sin \alpha) v_0 t_{(c)} - \frac{g}{2} t_{(c)}^2 = z_z \quad \wedge$$

Gleichung A 9.7
$$y_{t_{(c)}} = y_0 + (\sin \beta) v_0 t_{(c)} = y_z \quad \wedge$$

Gleichung A 9.8
$$x_{t(c)} = x_0 + (\cos \alpha) v_0 t(c) = x_z$$

Unter Vernachlässigung der Zeit können über Gleichung A 9.4 und Gleichung A 9.5 die Wegkomponenten für y und z bei gegebenem x berechnet werden. Ein Treffer wird genau dann erzielt, wenn für $x = x_z$ (x -Koordinate des Zielpunktes) gilt:

Gleichung A 9.9
$$z_{(x_z)} = z_0 + (\tan \alpha_0) x_z - \frac{g}{2(v_0 \cos \alpha_0)^2} x_z^2 = z_z \quad \wedge$$

Gleichung A 9.10
$$y_{(x_z)} = y_0 + (\sin \beta_0) x_z = y_z$$

Die Aufgabe des motorischen Systems besteht im Rahmen einer einzelnen trefferorientierten Wurfbewegung also darin, eine trefferwirksame Kombination der determinierenden Parameter zu produzieren, also ein 6-Tupel $(x_0, y_0, z_0, v_0, \alpha, \beta)$, welches Gleichung A 9.9 und Gleichung A 9.10 erfüllt. Da eine nahezu unendliche Anzahl solcher Kombinationen existiert, handelt es sich bei der Bewegungsaufgabe „trefferorientierte Wurfbewegung“ um ein schlecht gestelltes Problem (vgl. hierzu z.B. KAWATO 1996), da die Lösung des Problems (Treffen eines Zieles) nicht eindeutig determiniert ist (problem of indeterminacy, vgl. JORDAN 1990). In diesem konkreten Fall ist dasselbe Ziel über verschiedene 6-Tupel erreichbar. In einer Serie von Würfeln könnte dann theoretisch eine hohe Ergebniskonstanz entweder über die möglichst exakte Reproduktion eines bestimmten 6-Tupels erfolgen oder aber über die Produktion verschiedener 6-Tupel, deren Parameter Gleichung A 9.9 und Gleichung A 9.10 erfüllen. Jeder einzelne Parameter des 6-Tupels stellt eine Einflussgröße für die Zielgröße „Trefferleistung“ dar. Zur Produktion trefferwirksamer kinematischer Parameter ist die Wirkung von Kräften auf das Wurfobjekt notwendige Voraussetzung, da sie die Ursache einer jeglichen Änderung eines Bewegungszustandes darstellen (Erstes NEWTONSches Axiom oder Trägheitsprinzip)¹⁷. Daher sollen im folgenden Kapitel die Anforderungen trefferorientierter Wurfbewegungen an dynamische Bewegungsparameter Gegenstand der Betrachtung sein.

¹⁷ Hier ist vor auszuschicken, dass in sämtlichen bisher vorgestellten Formeln v_0 für den Betrag der Geschwindigkeit stand. Die Geschwindigkeit ist jedoch eine vektorielle Größe, d.h. sie besitzt außer Zahlenwert und Einheit auch eine Richtung. Für den Vektor der Geschwindigkeit schreibt man \vec{v}_0 . Der Geschwindigkeitsvektor lässt sich entweder – wie oben geschehen – durch den Betrag v_0 sowie die Richtungswinkel α und β beschreiben oder über seine Komponenten v_{0x}, v_{0y}, v_{0z} parallel zu den Achsen des Koordinatensystems. D.h. das trefferwirksame 6-Tupel ließe sich auch als 4-Tupel darstellen, indem der Betrag der Abfluggeschwindigkeit und die beiden Abflugwinkel durch den Geschwindigkeitsvektor ersetzt werden $P_0(x_0, y_0, z_0, \vec{v}_0)$.

9.2.2 Die dynamische Beschreibungsebene

Der Bewegungsimpuls \vec{p} des Wurfobjektes ist physikalisch definiert als

Gleichung A 9.11
$$\vec{p} = m\vec{v} \text{ [Ns]},$$

mit der Masse m [kg] und der Geschwindigkeit \vec{v} [$\frac{m}{s}$]. Für das motorische System besteht die komplexe Aufgabe auf der dynamischen Ebene darin, durch Krafteinwirkung den aktuellen Impuls des Wurfobjektes \vec{p}_A in einen Impuls des Wurfobjektes zum Loslasszeitpunkt \vec{p}_0 zu transformieren, der trefferwirksam ist. Der Impuls \vec{p}_0 ist eine mögliche andere Beschreibungsform der Ausführung unter Berücksichtigung der Masse des Wurfobjektes. Die notwendige Verbindung von kinematischen Größen und dynamischen Größen erfolgt über das zweite NEWTONsche Axiom (Grundgesetz der Mechanik), das die qualitative Aussage des ersten Axioms quantifiziert:

Gleichung A 9.12
$$\vec{F} = m\vec{a} \text{ [N]},$$

mit der Masse m und der Beschleunigung \vec{a} [$\frac{m}{s^2}$]. Da $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, erhält man durch Einsetzen

Gleichung A 9.13
$$\vec{F} = m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad \text{oder}$$

Gleichung A 9.14
$$\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v}.$$

Die Größe $\vec{F}\Delta t$ wird als Kraftstoß bezeichnet und $m\Delta\vec{v}$ ist gerade der Impuls. Diese Schreibweise ist jedoch nur unter der Annahme einer konstanten Kraftwirkung zulässig, was aber bei der Kraftbildung durch das motorische System nicht angenommen werden kann. Daher schreibt man

Gleichung A 9.15
$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt = m\Delta\vec{v}.$$

Unter der plausiblen Annahme, dass sich die Masse des Wurfobjektes während der Krafteinwirkung nicht verändert, d.h. $m = const.$, resultiert

Gleichung A 9.16

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \Delta t \propto \Delta \vec{v}.$$

Die Aufgabe des motorischen Systems besteht dann darin, einen geeigneten Kraftstoß zu realisieren, der das Wurfobjekt aus seiner aktuellen Position im Raum $P_A(x_A, y_A, z_A)$ mit seiner aktuellen Bewegungsgeschwindigkeit \vec{v}_A (korrekt müsste es heißen: mit seinem aktuellen Bewegungsimpuls \vec{p}_A , aber wie oben ausgeführt, ist es gerechtfertigt, die Masse als konstant anzunehmen) zu einem Loslasspunkt $P_0(x_0, y_0, z_0)$ überführt, und der zu einer trefferwirksamen Abfluggeschwindigkeit \vec{v}_0 im Loslasspunkt P_0 führt.

Wie in Kapitel A8.2.1 bereits ausführlich beschrieben, können konditionelle Belastungen an verschiedenen Orten des neuromuskulären Systems zu Beanspruchungen führen. Daraus resultieren auf der Ebene der gebildeten Kraft Veränderungen spezifischer Kraftparameter (vgl. im Überblick OLIVIER 1996a). Exemplarisch seien an dieser Stelle eine Reduktion der Maximalkraft auf 75% des Ausgangsniveaus nach 100 maximalen isometrischen Kontraktionen der Beinextensoren (vgl. VIITASALO/KOMI 1980), eine Reduktion des Netto-Kraftstoßes der Armextensoren auf 75 – 80% nach 100 submaximalen Kontraktionen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (vgl. GOLLHOFER/KOMI/MIJASHITA/AURA 1987) und Reduktionen des Schnellkraftniveaus in unterschiedlichem Ausmaß in Abhängigkeit von der Intensität und der Dauer der Beanspruchung (vgl. OLIVIER 1996a) genannt. Belastungsbedingte Veränderungen spezifischer Kraftparameter sollten sich dann auch in den kinematischen Parametern widerspiegeln. Dies könnte sich bei einem gegebenen Beschleunigungsweg – bei einem Dartwurf z.B. kann man das Wurfobjekt nur über einen begrenzten Weg beschleunigen – derart auswirken, dass nach einem bestimmten zurückgelegten Weg die Geschwindigkeit des Wurfobjektes geringer ist als in unbelastetem Zustand, oder dass zum Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit des Wurfobjektes ein längerer Weg zurückgelegt werden muss.

9.3 Eine exemplarische trefferorientierte Wurfbewegung:

Der „virtuelle“ Dartwurf

Die diesem Kapitel folgende Darstellung, wie trotz vorhandenen Rauschens in der Bewegungsproduktion dennoch eine höhere Konstanzleistung erzielt werden kann, soll anhand eines konkreten Beispiels abgearbeitet werden. Es soll an dieser Stelle nun eine Bewegungsaufgabe vorgestellt werden, die die in Kapitel A9.1 genannten Anforderungen erfüllt,

bevor im folgenden Kapitel A10 dann die Möglichkeiten zur Verbesserung der Konstanzleistung anhand dieser exemplarischen Wurf Aufgabe aufgezeigt werden. Da sich die Konstanzleistung als Trefferleistung über eine Serie von Würfeln ergibt, wird im Folgenden auch dieser Begriff verwendet. Die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ wurde bereits zur Bearbeitung anderer Fragestellungen herangezogen (vgl. z.B. MÜLLER 2000; REISER 2001 i.V.).

Die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ wurde gegenüber einer realen Dartwurfbewegung in drei wesentlichen Punkten vereinfacht (vgl. MÜLLER 2000, 68):

- Reduktion von Freiheitsgraden:
Durch Fixation des Ellenbogens wird die Bewegung auf einen Freiheitsgrad reduziert: Beugung und Streckung im Ellenbogengelenk verbleiben als einzige Bewegungsmöglichkeiten.
- Immobilisation von Hand- und Fingergelenken:
Dies erfolgt durch eine spezifische Anordnung an einem Metallhebel.
- Beschränkung auf die Sagittalebene:
Die Bewegungen von Wurfarm und Wurfobjekt erfolgen lediglich in der sagittalen Ebene, in der sich auch das Ziel befindet.

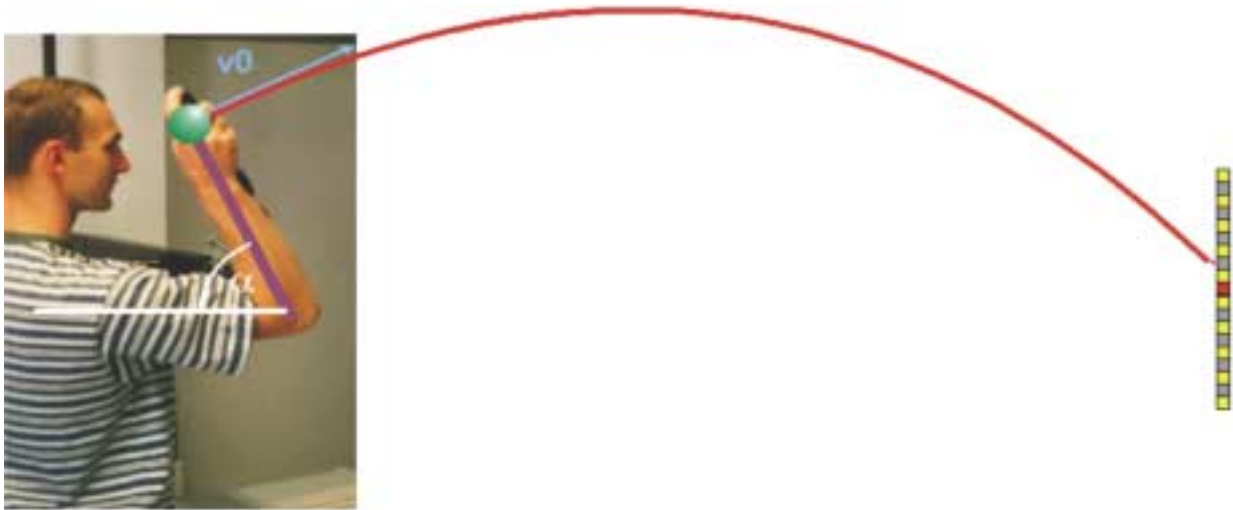


Abbildung 7: Die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“: Eine reale Vpn an der Dartmaschine ist im linken Foto zu sehen. Die überlagerten Grafiken entsprechen den Bildschirminhalten, die der Vpn mittels eines Computermonitors während der Wurfbewegung dargeboten werden (mit Ausnahme der zur Veranschaulichung eingefügten Beschriftungen).

Die konkrete Realisierung der beschriebenen Vereinfachungen erfolgt über Fixation des Unterarms des Werfers an einem eingelenkigen Metallhebel, wobei die Drehachsen von

Ellenbogengelenk und Metallhebel zur Deckung gebracht werden, um Drehmomente zu vermeiden. Konstante Ortskoordinaten sind die des Hebeldrehpunktes und folglich auch die des Ellenbogengelenks. Der Hebel wird von der rechten Hand umgriffen und über Beugung und Streckung des Zeigefingers kann ein Metallkontakt am oberen Ende des Metallhebels geöffnet und geschlossen werden. Mit dem Öffnen des Kontaktes wird das Wurfobjekt (eine grüne Kugel) „losgelassen“ und fliegt mit der aktuellen Geschwindigkeit des Hebelendes tangential zu dessen kreisförmiger Bewegungsbahn ab. Die physisch realen Bewegungen von Werfer und Hebel werden über einen Potentiometer erfasst und in einer sagittalen Perspektive zusammen mit der Bewegung der Wurfkugel auf dem Computerbildschirm dargestellt (vgl. Abbildung 7). Diese befindet sich bei geschlossenem Metallkontakt am Hebelende und fliegt nach dem Lösen des Metallkontaktes auf der berechneten Flugbahn bis zur Zielscheibe. Die Bewegungsaufgabe besteht für den Werfer darin, die Zielscheibe möglichst zentral zu treffen (rotes Feld). Weitere konzentrische Ringe um den Mittelpunkt sind abwechselnd in gelber und grauer Farbe dargestellt. Als Maß für die Trefferleistung eines einzelnen Wurfs wird dann der absolute Abstand der Treffpunkte zur Scheibenmitte verwendet. Die Trefferleistung als Konstanzleistung über eine Serie von Würfen ergibt sich dann aus dem mittleren absoluten Abstand zur Scheibenmitte (absoluter Fehler).

Bei dieser speziellen Wurfbewegungs-Aufgabe reduziert sich die Anzahl relevanter Ausführungsgrößen, die die Position der Wurfkugel auf der Zielscheibe determinieren, auf den Winkel des Metallhebels im Loslasszeitpunkt (Abwurfwinkel α) und die Geschwindigkeit der Wurfkugel zu diesem Zeitpunkt (Abwurfgeschwindigkeit v_0). Für jede beliebige Kombination dieser beiden Ausführungsgrößen lässt sich dann der Auftreffpunkt der Kugel auf der Zielscheibe berechnen (vgl. Abbildung 8). Die Grafik repräsentiert die sogenannte Treffer-Wertemenge (nähere Erläuterungen siehe Beschriftung).

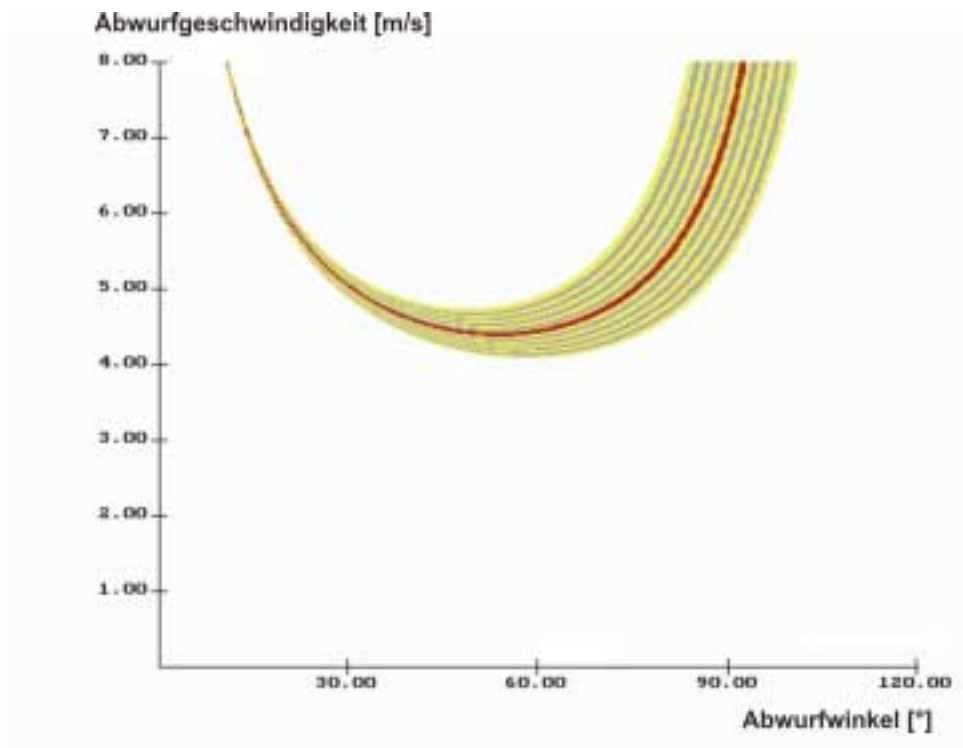


Abbildung 8: Treffer-Wertemenge der Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“. Für alle Kombinationen von Abwurfwinkel α (Abszisse) und Abwurfgeschwindigkeit v_0 (Ordinate) sind die jeweiligen Punkte des Koordinatensystems entsprechend der daraus resultierenden Auftreffpunkte farblich markiert. Diejenigen Kombinationen der Ausführungsgrößen, die zu einem Treffer im roten Scheibenzentrum führen, sind dementsprechend rot markiert. Die gelben und grauen Markierungen entsprechen den Farben der konzentrischen Ringe um den Mittelpunkt der Zielscheibe und markieren analog Winkel-Geschwindigkeits-Kombinationen, die zu Treffern in diesen Felder führen. Kombinationen ohne Farbe verfehlen die Zielscheibe (modif. nach MÜLLER 2000, 69).

Diese spezielle trefferorientierte Wurfbewegung erfüllt zudem die in Kapitel A9.1 erläuterten Anforderungen A1 bis A4 (vgl. MÜLLER 2000, 70):

- Das Ziel ist durch eine Ortskoordinate gegeben (Anforderung A1).
- Durch die beschriebene Reduktion der Freiheitsgrade werden die Möglichkeiten zu ungewollten Variationen der Ausführungsbedingungen stark eingeschränkt und lassen sich so weitgehend konstant halten (A2).
- Die Bewegungszeiten liegen je nach Umfang der vorausgehenden Ausholbewegung für diese Wurfbewegungen zwischen 100 und 200 msec (A3).

- Über die beiden Ausführungsgrößen Abwurfwinkel (α) und Abwurfgeschwindigkeit (v_0) kann man über den bekannten mathematischen Zusammenhang berechnen, in welchem Punkt die Wurfkugel die Zielscheibe trifft (A4; vgl. dazu Kapitel A9.2).

Die Reduktion auf diese beiden Ausführungsgrößen ist nebenbei aus didaktischer Sicht hilfreich, da die anschließenden Überlegungen an zweidimensionalen Grafiken verdeutlicht werden können. Zwar gibt es, wie MÜLLER (2000, 70) anfügt, bzgl. der Anzahl der Dimensionen keine Einschränkungen bezogen auf die Gültigkeit der Aussagen, diese könnte es jedoch auf Seiten des Vorstellungsvermögens der Betrachter geben.

10 Eine formale Analyse aus dem Elfenbeinturm: Drei theoretische Möglichkeiten zur Verbesserung der Trefferleistung

Es erscheint plausibel, dass Bewegungen, die unter veränderlichen Ausführungsbedingungen zu realisieren sind – man denke hier an einen Torschuss im Fußball aus unterschiedlichen Entfernungen und unter mehr oder weniger starker Behinderung durch den Gegner – sich in ihrem raum-zeitlichen Verlauf der Bewegungsausführung unterscheiden. Allerdings konnte gezeigt werden, dass selbst Bewegungen, die unter konstanten Ausführungsbedingungen ausgeführt werden, in ihrem raum-zeitlichen Verlauf nicht identisch reproduziert werden, also Rauschen vorhanden ist. Wenn mehrere Ausführungsgrößen zugleich festgelegt werden müssen, wie dies bei Wurfbewegungen der Fall ist (Festlegung eines bestimmten 6-Tupels, vgl. Kapitel A9.2), besteht für das motorische System keine Möglichkeit, das Rauschen durch Korrekturen zu kompensieren. Wie MÜLLER (1997a; 1999b) zeigen konnte, verbleiben unter Gültigkeit dieser Prämissen dennoch drei Möglichkeiten, die Trefferleistung zu verbessern. Bevor diese erläutert werden, müssen zunächst die beiden relevanten Begriffe „Treffer-Wertemenge“ und „Abwurf-Wertemenge“ definiert und erklärt werden.

10.1 Eine Begriffsexplikation:

Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge

Die folgende Erläuterung wird allgemein für Wurfbewegungen dargestellt, d.h. sie wird sich immer auf ein 6-Tupel von Ausführungsgrößen beziehen (vgl. Kapitel A9.2), die Aussagen sind jedoch genauso für ein Tupel von Ausführungsgrößen, wie es bei der Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ vorliegt (vgl. Kapitel A9.3), ohne Einschränkung zutreffend.

Die Menge der Kombination der Ausführungsgrößen, die zu einem Treffer führen, wird im Folgenden als *Treffer-Wertemenge* ($W_{Treffer}$) bezeichnet. Für das Erzielen eines Treffers ist eine notwendige (und hinreichende) Bedingung, dass zum Zeitpunkt des Loslassens des Wurfobjektes ein 6-Tupel (t_i) vorliegt, das Element der Treffer-Wertemenge ist ($t_i \in W_{Treffer}$). Die aus einer Serie von Würfeln gebildete Menge der 6-Tupel zum Loslasszeitpunkt soll im Folgenden als *Abwurf-Wertemenge* (W_{Abwurf}) bezeichnet werden. Die Trefferzahl für eine Serie von Würfeln ist dann identisch mit der Anzahl der 6-Tupel der Schnittmenge von Abwurf- und

Treffer-Wertemenge. Dies bedeutet: je größer die Schnittmenge von Abwurf- und Treffer-Wertemenge für eine Serie von Würfeln ist, desto mehr Treffer resultieren in dieser Serie. Wenn die Abwurf-Wertemenge eine echte Teilmenge der Treffer-Wertemenge darstellt ($W_{Abwurf} \subset W_{Treffer}$), dann führt jeder Wurf der Serie zu einem Treffer. Das Ausmaß dieser Überschneidung hängt von den nun zu beschreibenden Faktoren ab, die zu einer Verbesserung der Trefferleistung beitragen können.

10.2 Die drei Möglichkeiten zur Steigerung der Trefferleistung

Im Verlaufe eines Übungsprozesses kann der Werfer seine Wurfbewegung so verändern, dass

1. ein stabilerer Abwurfbereich erreicht wird (Faktor „*Stabilität des Abwurfbereichs*“),
2. er die Variabilität in den für die spezielle Wurfbewegung relevanten Ausführungsgrößen verringert (Faktor „*Rauschreduktion*“) und
3. er Bewegungstrajektorien so wählt, dass im Bereich des Abwurfes aufgabendienliche Kovariationen der Abweichungen in den einzelnen Ausführungsgrößen entstehen (Faktor „*Aufgabendienliche Kovariation*“).

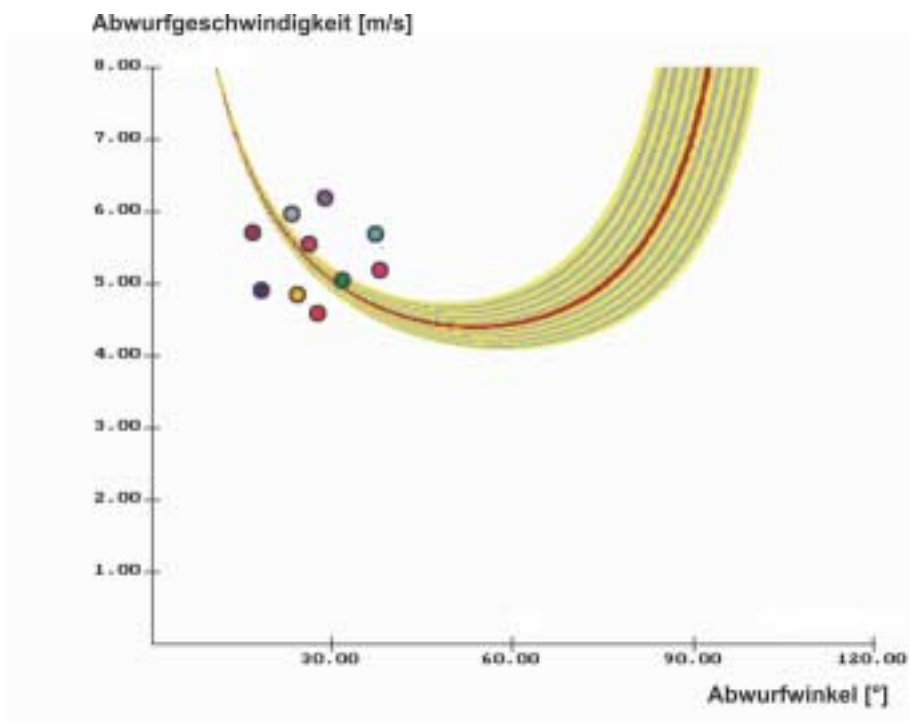


Abbildung 9: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge (farbige Kreise) in einem Abwurfbereich mit geringer Stabilität (modif. nach MÜLLER 2000, 71).

Gehen wir zunächst von folgendem Beispiel aus: Ein Sportler wirft zu Beginn eines Übungsprozesses eine Serie von zehn Würfeln, so dass daraus die in Abbildung 9 dargestellte Abwurf-Wertemenge resultiert. Ausgehend von diesem Ausgangsniveau seiner Trefferleistung stellt sich dann die Frage, welche Möglichkeiten sich dem Werfenden bieten, seine Leistung zu verbessern. Prinzipiell kann man drei Möglichkeiten unterscheiden. MÜLLER (2000, 70) weist jedoch explizit darauf hin, dass sich diese Möglichkeiten nicht überschneiden (d.h. sie sind „orthogonal“), und dass sie in ihrer Summe die gesamte Leistungsverbesserung beschreiben (zum formalen Nachweis dieser beiden Eigenschaften vgl. MÜLLER 2000, 141ff.). Daher bezeichnet er die drei Möglichkeiten gerechtfertigterweise als „*Faktoren der Veränderung der Trefferleistung*“ (vgl. MÜLLER 2000, 70).

Betrachten wir zunächst wieder Abbildung 9, dann sehen wir, dass es dem Werfer mit seinen Würfeln zwar im Mittel gelingt, die Scheibe zu treffen, dennoch kennzeichnet die von ihm verwendete mittlere Winkel-Geschwindigkeits-Kombination einen Bereich der Treffer-Wertemenge, den man als instabil bezeichnen kann; dies bedeutet, dass geringste Abweichungen von dieser mittleren Kombination in Abwurfwinkel oder Abwurfgeschwindigkeit bereits dazu führen können, dass die Scheibe verfehlt wird. Eine erste Möglichkeit, seine Trefferleistung zu steigern, besteht für den Werfer nun darin, in einem stabileren Bereich abzuwerfen.

10.2.1 Der Faktor „Stabilität des Abwurfbereichs“

Betrachten wir uns noch einmal die Trefferwertemenge in Abbildung 8, dann fällt auf, dass diese nicht über den gesamten Bereich der trefferwirksamen Winkel-Geschwindigkeits-Kombinationen eine gleiche „Breite“ aufweist. Gelingt es dem Werfer nun, die Abwurfwertemenge in einen möglichst „breiten“ Bereich der Treffer-Wertemenge zu „verschieben“, nimmt die Anzahl der Treffer auf der Zielscheibe zu. Dieses „Verschieben“ bedeutet nichts anderes, als dass bei einer gleichen Streuung der Abwurfparameter (Ausdehnung der Abwurf-Wertemenge) die Schnittmenge von Abwurf- und Treffer-Wertemenge größer wird (und damit die Anzahl der Treffer steigt). Als relativ stabile Abwurfbereiche werden im Folgenden solche Bereiche der Treffer-Wertemenge bezeichnet, in denen auch (relativ) große Abweichungen der Ausführungsgrößen nicht zu einem Verlassen der Treffer-Wertemenge führen. Abbildung 10 verdeutlicht, wie die Trefferleistung durch „Verschieben“ der Abwurf-Wertemenge aus einem weniger stabilen (vgl. Abbildung 9) in einen relativ stabilen Abwurfbereich verbessert werden kann. Eine verstärkte Ausnutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe, also ein „Verschieben“ der Ausführungsgrößen in einen Bereich, in dem die Aufgabe „stabil“ gelöst

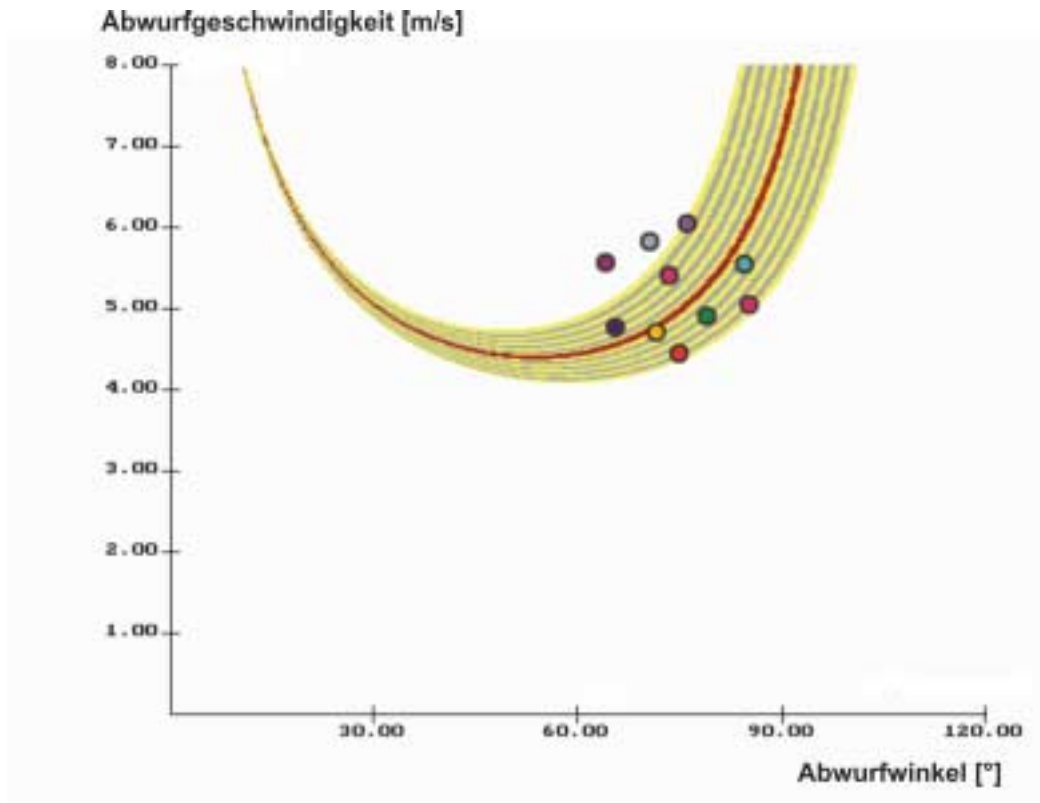


Abbildung 10: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge in einem Abwurfbereich mit höherer Stabilität (modif. nach MÜLLER 2000, 71).

werden kann, wird im Folgenden als Beitrag des Faktors „*Stabilität*“ bezeichnet. Ist es dem motorischen System gelungen, einen stabilen Abwurfbereich anzusteuern, verbleiben ihm weitere zwei Möglichkeiten, die Trefferleistung zu verbessern.

10.2.2 Der Faktor „Rauschreduktion“

Die nächste Möglichkeit der Verbesserung der Trefferleistung besteht darin, die Streuung in den Ausführungsgrößen zu verringern, mit anderen Worten, das Rauschen zu reduzieren. Dies ist allerdings an folgende Voraussetzungen gebunden (vgl. MÜLLER 1997b):

1. Der Mittelpunkt der Abwurf-Wertemenge muss in der Treffer-Wertemenge liegen,
2. die Treffer-Wertemenge muss zusammenhängend sein und
3. die Abwurf-Wertemenge darf nicht bereits eine echte Teilmenge der Treffer-Wertemenge darstellen. Diese Voraussetzung gilt allerdings nur für ein dichotomes Treffermaß (also Treffer – Nicht-Treffer), wie z.B. beim Basketball. Bei einem nicht-dichotomen Leistungsmaß, wie es beispielsweise bei der beschriebenen Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ verwendet wird, kann auch in dem Fall,

wenn die Abwurf-Wertemenge bereits eine echte Teilmenge der Trefferwertemenge darstellt, die Wurfleistung über eine Verringerung der Streuung in den Ausführungsgrößen gesteigert werden, da sich dann jegliche weitere Streuungsminderung in einer über das Abstandmaß ausgedrückten Leistungsverbesserung zeigt.

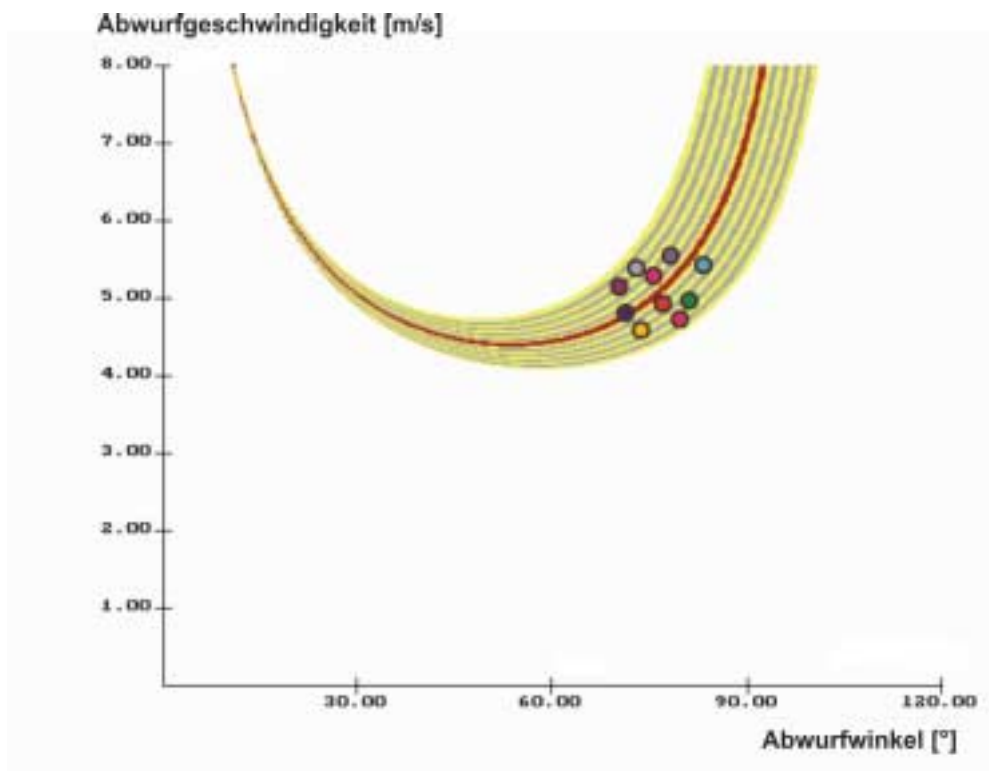


Abbildung 11: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge mit reduziertem Rauschen in den Ausführungsgrößen (modif. nach MÜLLER 2000, 71).

Graphisch veranschaulicht zeigt sich eine Reduktion des Rauschens in einer im Vergleich zu Abbildung 10 geringeren Ausdehnung der Abwurf-Wertemenge (vgl. Abbildung 11). Verbesserungen der Trefferleistung, die darauf zurückzuführen sind, dass die Ausdehnung der Abwurf-Wertemenge geringer wird, werden im Folgenden als Beitrag des Faktors „*Rauschreduktion*“ bezeichnet.

Nachdem es dem Werfer nun gelungen ist, seine Abwurf-Wertemenge in einen stabilen Abwurfbereich zu „verschieben“ und die Ausdehnung der Abwurf-Wertemenge zu verringern, verbleibt ihm noch eine letzte Möglichkeit, die Trefferleistung zu erhöhen.

10.2.3 Der Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“

Neben der Nutzung der bereits genannten Faktoren kann die Trefferleistung letztlich noch dadurch verbessert werden, dass die auftretenden Abweichungen in den Ausführungsgrößen kovariieren. In diesem Fall kommt es auch dann zu einer Verbesserung der Trefferleistung, wenn die Streuung in den Ausführungsgrößen insgesamt konstant bleibt. Liegt im dargestellten Beispiel eine Kombination einer relativ hohen Abwurfgeschwindigkeit und eines relativ hohen Abwurfwinkels vor, dann heben sich die Abweichungen beider Ausführungsgrößen vom jeweiligen Mittelwert zum Teil gegenseitig wieder auf; der Wurf trifft dennoch sein Ziel.

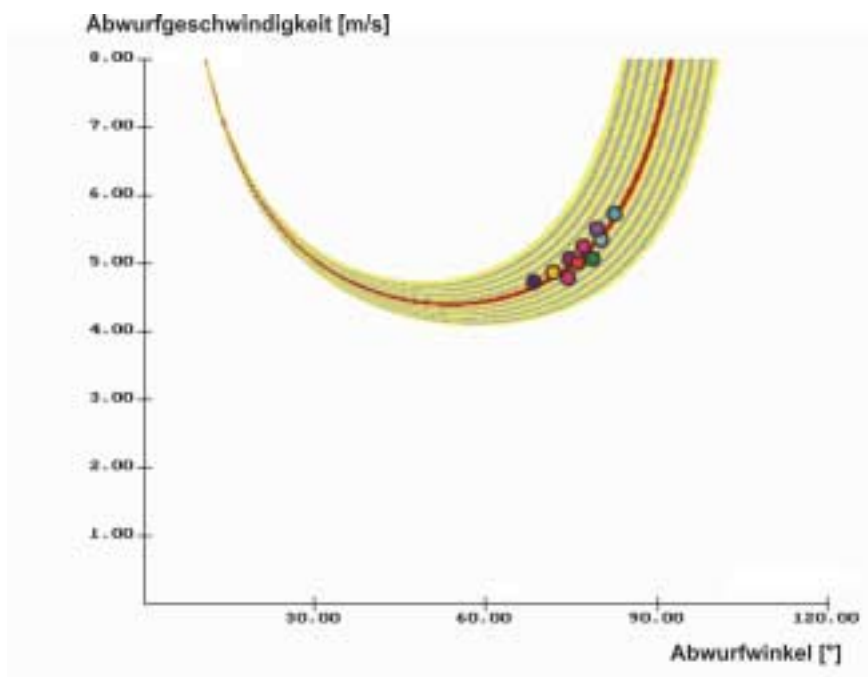


Abbildung 12: Treffer-Wertemenge und Abwurf-Wertemenge mit Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ (modif. nach MÜLLER 2000, 71).

Veranschaulicht entspricht dieses Phänomen einer Anpassung der Form der Abwurf-Wertemenge an die Form der Treffer-Wertemenge, also einer „Verformung“. Verbesserungen in der Trefferleistung, die auf diesem Phänomen beruhen, sollen im Folgenden als Beitrag des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ bezeichnet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die gesamte Veränderung der Trefferleistung von einer Wurfserie zu einer anderen Wurfserie als Summe der Beiträge der drei Faktoren *Stabilität*, *Rauschreduktion* und *Aufgabendienliche Kovariation* ausgedrückt werden kann. Das von MÜLLER (1997a, vgl. auch 2000, 141ff.) entwickelte Verfahren zur Berechnung der

einzelnen Beiträge der Faktoren wird in Kapitel B1.1 detaillierter dargestellt. Dieses hier am Beispiel der Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ entwickelte Kalkül ist jedoch nicht an eine spezielle Aufgabe gebunden. Ein großer Vorteil des beschriebenen Berechnungsverfahrens besteht darin, dass die genannten Faktoren sich in vergleichbarer Weise auch bei solchen Aufgaben bestimmen lassen, bei denen mehr als zwei Ausführungsgrößen vorliegen und bei denen andere Treffermaße definiert sind.

11 Vom Elfenbeinturm zum Sportplatz:

Zur praktischen Relevanz und lerntechnologischen Beeinflussbarkeit der Faktoren der Trefferleistung

Da die Ableitung und Unterscheidung der drei Faktoren bis zu diesem Zeitpunkt rein theoretisch erfolgt ist, muss unter praktischen Gesichtspunkten berechtigterweise die Frage beantwortet werden, ob diese bei realen Wurfbewegungen überhaupt eine Rolle spielen (vgl. MÜLLER 2000, 72). Es soll daher im Fortgang der Arbeit aufgezeigt werden, dass diese Faktoren bei realen Wurfbewegungen tatsächlich genutzt werden, um eine Verbesserung der Trefferleistung herbeizuführen – MÜLLER (2000, 73) spricht bei diesem Aspekt von einem *Relevanznachweis* – und es soll der Frage nachgegangen werden, ob alle drei Faktoren über den gesamten Übungsverlauf eine vergleichbar hohe Bedeutung haben, oder ob es zu charakteristischen Verschiebungen kommt – MÜLLER (2000, 73) spricht bei diesem Aspekt von einer *Relevanzverschiebung*.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ergibt sich für MÜLLER (2000, 73) aus der Charakterisierung der Sportwissenschaft als einer angewandten Wissenschaft (vgl. DAUGS/OLIVIER/WIEMEYER/PANZER 1999). Diesem Anspruch folgend, ist die Frage zu stellen, wie die Nutzung der Faktoren extern beeinflusst werden kann (Aspekt der *Beeinflussbarkeit*). Für meine spezielle Fragestellung kann eine Analyse vorliegender Literatur bereits hilfreiche Hinweise auf die Gestaltung der Aneignungsphase geben, um optimale Lerneffekte zu erreichen.

Zur Beantwortung der speziellen Fragestellung nach den Effekten neuromuskulärer und zentralnervöser Beanspruchungen auf die Trefferleistung, muss noch ein vierter Aspekt beachtet werden. Es soll überprüft werden, inwiefern neuromuskuläre bzw. zentralnervöse Beanspruchungen dazu führen, dass die drei Faktoren der Veränderung der Trefferleistung besser oder schlechter genutzt werden, und ob sich bei einer veränderten Nutzung möglicherweise Kompensationsphänomene zeigen, in dem Sinne, dass eine mögliche verminderte Nutzung des einen Faktors durch eine verstärkte Nutzung eines anderen Faktors im Hinblick auf das Bewegungsergebnis wieder ausgeglichen werden kann.

Nach einer Analyse der vorliegenden Literatur müssen an dieser Stelle allerdings zwei Feststellungen getroffen werden:

1. Meines Wissens liegen keine Arbeiten vor, die die unabhängige Variable dem Drei-Faktoren-Modell OLIVIERs (vgl. 1996; 1997) entsprechend abstufen. Es werden also

keine konditionellen Belastungen induziert, die einerseits neuromuskuläre und andererseits zentralnervöse Beanspruchungen hervorrufen und deren Effekte auf die Trefferleistung untersucht, sondern nur solche, die generell „Ermüdung“ hervorrufen sollen (zur Problematik des Ermüdungsbegriffes vgl. Kapitel A6.1)

2. Hinsichtlich der abhängigen Variablen „Trefferleistung“ wird nicht weiter differenziert, welche Faktoren der Veränderung der Trefferleistung welchen Beitrag an der Veränderung erbringen. Dies war zu erwarten, da bisher kein Verfahren vorlag, das einen solchen Vergleich über Dimensionsgrenzen hinweg ermöglicht hätte. Das von MÜLLER entwickelte Verfahren (vgl. MÜLLER 1997a; 2000; vgl. auch Kapitel B1.1) ermöglicht dies nun. Unabhängig davon fehlen aber auch Untersuchungen, die zumindest einen Zusammenhang zwischen der Veränderung von Ergebnisgrößen und Ausführungsgrößen infolge spezifischer Beanspruchungen nahe legen (mir sind jedenfalls keine Arbeiten bzgl. der Aufgabenklasse „Trefferorientierte Wurfbewegungen“ bekannt).

Die wenigen vorhandenen Arbeiten, die sich mit dem Einfluss konditioneller Belastungen auf trefferorientierte Wurfbewegungen befassen, sollen in einem eigenen Kapitel im Anschluss an die Diskussion der wurfrelevanten Faktoren vorgestellt und vor dem Hintergrund des gewählten theoretischen Ansatzes diskutiert werden (vgl. Kapitel A12). Teilweise wird der Überblick über die Literaturlage darin bestehen, die für die Fragestellung relevanten Arbeiten in tabellarischer Form aufzulisten. Diese Darstellungsweise beschränkt sich jedoch auf Arbeiten, bei denen sowohl Ausführungs-, als auch Ergebnisgrößen erfasst wurden. Dies ist die Voraussetzung, eine faktorenspezifische Interpretation anzuschließen. Die hier gewählte Darstellung orientiert sich eng an der umfassenden und detaillierten Analyse vorliegender Befunde, die sich bei MÜLLER (2000) findet.

11.1 Rauschreduktion

Wie MÜLLER (2000, 75) anmerkt, haftet der Feststellung, dass Bewegungen dann zu einem konstanteren Ergebnis führen, wenn die Bewegungsausführungen konstanter erfolgen, eine gewisse Trivialität an. In dieser vermeintlichen Trivialität sieht er möglicherweise den Grund für die Tatsache, dass relativ wenige Untersuchungen vorliegen, die diesen Zusammenhang explizit geprüft haben. In Tabelle 4 sind einige dieser Arbeiten im Überblick aufgeführt. In Kapitel A10 wurde aufgezeigt, dass mehrere Möglichkeiten existieren, die Trefferleistung zu verbessern. Es besteht aus theoretischer Sicht zunächst kein zwingender Grund, dass jede dieser Möglichkeiten auch tatsächlich genutzt wird. MÜLLER (2000, 75) sieht daher die Frage

Tabelle 4: Untersuchungen zum Zusammenhang von Rauschreduktion und Ergebniskonstanz bei trefferorientierten Wurfbewegungen (modif. und ergänzt nach MÜLLER 2000, 76). In den Spalten sind folgende Angaben aufgeführt (von links nach rechts): a) Die Autoren, b) eine Kurzbeschreibung der Wurf-Bewegungsaufgabe, c) die Dauer der untersuchten Wurf-Bewegungsaufgabe, d) der Typ der jeweiligen Untersuchung (Q = Querschnittsuntersuchung, L = Längsschnittuntersuchung) und e) bis h) eine zusammenfassende Wertung darüber, ob der jeweilige Effekt auftritt. *Relevanz* (Rel.): Hier zeigt ein „+“ an, dass eine hohe Ergebniskonstanz in Zusammenhang mit einer geringen Ausführungsvariabilität auftritt. Analog weist ein „-“ auf den umgekehrten Zusammenhang hin, eine „0“ zeigt an, dass kein Zusammenhang festgestellt werden konnte. *Übungsabhängigkeit* (Üb.): Ein „+“ zeigt an, dass der Faktor „Rauschreduktion“ mit zunehmender Übung weiter positiv genutzt werden kann, wohingegen ein „-“ eine Abnahme der Nutzung anzeigt, d.h. das Rauschen wird größer. *Interventionsmöglichkeiten* (Int.): „+“ bedeutet, dass es in der Untersuchung gelungen ist eine rauschreduzierende Interventionswirkung nachzuweisen. Analog hierzu zeigen „-“ bzw. „0“ eine umgekehrte bzw. ausgebliebene Interventionswirkung an.

Quelle	Aufgabe (Kurzbeschreibung)	Dauer (msec)	Typ Quer-/Längsschnitt	Ergebnis		
				Rel.	Üb.	Int.
DILLINGER/MÜLLER/ DAUGS (2001, i.D.)	Virtueller Dartwurf	160	Q	+		
HIGGINS/SPAETH 1972	Dartwurf	160	L	+	+	
JAEGERS/PETERSON/ DANTUMA/HILLEN/ GEUZE/SHELLEKENS (1989)	Dartwurf	160	L	+	+	
MÜLLER (2000)	Virtuelles Pendel	160	L	+	+	0
MÜLLER/REISER/ DAUGS (1999)	Basketball-Freiwurf	800	L	+	+	0
PENROSE/BLANKSBY (1976)	Basketballwurf	800	Q		+	
REISER (i.V.)	Virtueller Dartwurf	160	L	+	+	
VORRO (1973)	Wurfbewegung	o.A.	L	+	+	

nach der *Relevanz* bzw. der *Relevanzverschiebung* auch bei dem so „offensichtlichen“ Faktor Rauschreduktion als gestattet an.

11.1.1 Zum Zusammenhang von motorischem Rauschen und Konstanzanforderungen der Bewegungsaufgabe

Um die Relevanz des Faktors „Rauschreduktion“ nachzuweisen, muss dargelegt werden, dass die Nutzung des Faktors „Rauschreduktion“ sich auch in einer verringerten Ergebnisvariabilität und damit einer erhöhten Trefferleistung zeigt. Verzichtet man auf den implizierten Kausalitätsnachweis, so verbleibt nach MÜLLER (2000, 75) mindestens ein Zusammenhang

zwischen Ergebnisvariabilität und Ausführungsvariabilität aufzuzeigen, der durch einen ausreichend großen Korrelationskoeffizienten nachgewiesen werden könnte.

Im Folgenden wird der umfassendere Begriff der Ausführungsvariabilität verwendet, da zwar in den vorgestellten Untersuchungen der Anpassungsaspekt vergleichsweise gering sein sollte, aber nicht definitiv ausgeschlossen werden kann. Da jedoch auch keine Hinweise vorliegen, dass die Ergebnisse nur für eine Unterkategorie der Ausführungsvariabilität zutreffen, wird das motorische Rauschen in die Schlussfolgerungen einbezogen.

Wie MÜLLER (2000, 75) konstatiert, ist eine experimentelle Manipulation der Ausführungsvariabilität erforderlich, um Unterschiede in der Ergebnisvariabilität kausal auf Unterschiede in der Ausführungsvariabilität zurückzuführen. Dabei unterliegen einige Untersuchungen der Einschränkung eines Kausalitätsvorbehaltes. Für Untersuchungen, die dieser Einschränkung nicht unterliegen, findet MÜLLER (2000, 75) unterschiedliche Wege, auf denen die Manipulation erfolgen kann:

1. Übungsabhängigkeit

Eine Untersuchung vorliegender Arbeiten zeigt als gemeinsames Ergebnis, dass eine übungsabhängig veränderte Ausführungsvariabilität mit Veränderungen in der Ergebnisvariabilität verbunden ist. Unterschiede in den Untersuchungen bestehen dabei einerseits in der verwendeten Kriteriumsaufgabe, als auch in den Indikatoren der Ausführungsvariabilität (z.B. kinematischer Verlauf von Körperpunkten: PENROSE/BLANKSBY 1976; MÜLLER/REISER/DAUGS 1999; REISER i.V.; Kinematik und EMG: JAEGER/PETERSON/DANTUMA/HILLEN/GEUZE/SHELLEKENS 1989). In einer charakteristischen quasi-experimentellen Untersuchung (vgl. MÜLLER 2000, 81; ausführlicher MÜLLER/REISER/DAUGS 1999) wurde bei Basketballwürfen auf unterschiedlichem Könnensniveau (Bundesligaspieler vs. Sportstudenten) mit unterschiedlichen Wurftechniken (normale Würfe, Würfe mit hoher und niedriger Flugbahn, Würfe mit geschlossenen Augen und Würfe von unten) die Variabilität in der Bewegungsausführung und im Bewegungsergebnis verglichen. Als zentrale Ergebnisse zeigen sich für die Bundesligaspieler gegenüber den Sportstudenten, a) eine tendenziell geringere Variabilität in den Verläufen der Körperkoordinaten, b) eine geringere Variabilität in den Flugkurven des Balles, und c) eine geringere Variabilität im Ergebnis.

2. Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit

Arbeiten zum Zusammenhang von Ausführungsgeschwindigkeit und

Genauigkeitsanforderungen der Aufgabe (vgl. bereits WOODWORTH 1899) führten schließlich zur Formulierung des FITTSSchen Gesetzes (vgl. FITTS 1954), das den Zusammenhang zwischen der geforderten Bewegungsgenauigkeit, der Bewegungsamplitude und der resultierenden Bewegungszeit formelhaft ausdrückt. Jedoch bezieht sich diese Arbeit, wie auch die folgenden, die sich dieser Thematik widmen (vgl. z.B. SCHMIDT/ZELAZNIK/HAWKINS/FRANK/QUINN 1979), alleine auf die Ergebnisvariabilität; die Variabilität in der Bewegungskorrektur wird in diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt. Ein von MEYER/SMITH/WRIGHT (1982) vorgestelltes Modell, das den durch das FITTSSche Gesetz beschriebenen „speed-accuracy trade-off“ erklären kann, zeigt, dass eine geschwindigkeitsbedingte Erhöhung der Ausführungsvariabilität auch mit einer Erhöhung der Ergebnisvariabilität verbunden ist (vgl. MEYER/ABRAMS/KORNBLUM/WRIGHT/SMITH 1988).

3. Induzierung konditioneller Belastungen

Wie sich eine Induzierung konditioneller Belastungen auf Ausführungs- und Ergebnisvariabilität auswirkt, ist gerade Gegenstand dieser Untersuchung.

11.1.2 Übung und Rauschreduktion

Anhand einer exemplarischen Untersuchung soll für eine Wurfbewegung zunächst dargestellt werden, wie sich die Ausführungsvariabilität übungsbedingt verändert. REISER (i.V.) untersuchte, in welchem Umfang die Faktoren der Trefferleistung übungsbedingt genutzt werden können. Die Bewegungsaufgabe war hierbei der „Virtuelle Dartwurf“ (vgl. Kapitel A9.3). Die Vpn sollten über zehn Termine mit insgesamt 180 Serien à acht Würfen (1440 Würfe) sowohl den virtuellen Dartwurf, als auch einen virtuellen Wurf von unten üben (die Bewegung ähnelt einem Boulewurf; vgl. zu dieser Bewegungsaufgabe ausführlicher REISER i.V.). Es konnte gezeigt werden, dass bei beiden Wurftechniken a) die Ausführungsvariabilität (hier operationalisiert über einen RMS-Abstand des Winkel-Zeit-Verlaufes in einem bestimmten Zeitfenster) im Verlaufe von Übung sinkt und b) die Ergebnisvariabilität im Verlaufe der Übung abnimmt. Zu vergleichbaren Ergebnissen gelangen auch die fünf in Tabelle 4 dargestellten Längsschnittstudien, bei welchen der Faktor „Übung“ zwar experimentell manipuliert wurde, jedoch keine klassische Kontrollgruppe beteiligt wurde, die die Bewegung nicht übte. Eine eindeutige Entscheidung bzgl. der Übungsbedingtheit der Veränderung ist daher, wie MÜLLER (2000, 86) feststellen muss, strenggenommen nicht eindeutig vorzunehmen.

Auch in Untersuchungen, die andere Bewegungsaufgaben als Wurfbewegungen untersuchten, konnte gezeigt werden, dass sich im Verlaufe von Übung sowohl Ausführungs-, als auch Ergebnisvariabilität verringern (vgl. z.B. ARUTYUNYAN/GURFINKEL/MIRSKII 1968: Zielen mit einer Pistole; DARLING/COOKE 1987: Step-tracking Bewegung mit Beugung und Streckung im Ellenbogen; GOTTLIEB/CORCOS/JARIC/AGARWAL 1989: Ellenbogen-Beugung; VAN GALEN/PORTIER/SMITS-ENGELSMAN/SCHOMAKER 1993: Schreibbewegungen).

Als Fazit der analysierten Untersuchungen stellt MÜLLER (2000, 87) fest, dass es im Verlauf von Übung aufgabenbezogen zu einer Abnahme des motorischen Rauschens kommt, was zugleich mit einer Zunahme der Ergebniskonstanz in der untersuchten Aufgabe einhergeht.

11.1.3 Lerntechnologische Beeinflussbarkeit des motorischen Rauschens

Im Wesentlichen unterscheidet MÜLLER (2000, 87) zwei Möglichkeiten zur Unterstützung der Nutzung des Faktors Rauschreduktion im Übungsverlaufs:

- Bereitstellung geeigneter Informationen oder
- Spezifische Anordnung und Reihung der Übungsaufgaben

Ein kurzer Überblick über vorliegende Befunde zu beiden Möglichkeiten soll in den beiden folgenden Kapiteln gegeben werden.

11.1.3.1 *Lerntechnologische Beeinflussung durch ergänzende Information*

Dass durch die Bereitstellung zusätzlicher bewegungsbezogener Information eine Bewegung schneller und stabiler gelernt werden kann, ist durch eine Vielzahl von Arbeiten aus der sogenannten KR-Forschung (KR = Knowledge of Results), in denen lernrelevante informationsbezogene Variablen manipuliert wurden (u.a. Genauigkeit der Information, Informationsfrequenz, Interpolierte Aktivitäten während Bewegungsausführung und KR-Gabe), hinreichend bekannt (vgl. dazu Reviews von BLISCHKE/MARSCHALL/MÜLLER/DAUGS 1999; MAGILL 1993; SALMONI/SCHMIDT/WALTER 1984; SWINNEN 1996). Vorliegende Untersuchungen beziehen sich jedoch in der Mehrzahl der Fälle auf die informationsbedingte Veränderung der Ergebnisvariabilität, Vernachlässigen aber gleichzeitig die Ausführungsvariabilität, so dass eine Aussage über die Beeinflussung des motorischen Rauschens nicht möglich ist.

In einer eigenen Untersuchung beschäftigte sich MÜLLER (2000, 89; ausführlicher MÜLLER/REISER/DAUGS 1999) konsequenterweise mit der Frage, inwiefern verbale Informationen über die Nutzung der Faktoren „Rauschreduktion“ und „Aufgabendienliche Kovariation“ die Ausführungs- und Ergebnisvariabilität beeinflussen. Dazu absolvierten die Vpn

24 Serien à fünf Würfe (672 Würfe insgesamt) auf einen Basketballkorb. Ein Teil der Vpn erhielt ergänzende Information über das Ausmaß an Aufgabendienlicher Kovariation in einer Serie, der andere Teil der Vpn über die Variabilität in ihrer Bewegungsausführung, also über das Rauschen. Es zeigte sich eine tendenzielle Verringerung der Ergebnisvariabilität. Bezogen auf den Aspekt des motorischen Rauschens wurde deutlich, dass sich die Ausführungsvariabilität nicht veränderte, und dass die Vpn, die ergänzende Rückinformation über die Variabilität in der Bewegungsausführung bekamen, sich hinsichtlich dieses Aspektes nicht von den Vpn unterscheiden, die ergänzende Rückinformation bzgl. des Ausmaßes an Aufgabendienlicher Kovariation erhielten. Aber auch das Ausbleiben eines Unterschiedes sieht MÜLLER (2000, 90), beziehend auf FEIGE (1934), als bemerkenswert an. Dieser hatte aufgrund der Analyse einer Laufbewegung gefolgert, dass

„wir durch bewußte Gestaltung, durch eine entsprechende Absicht diese sich von selbst entwickelnde Genauigkeit des Bewegungsablaufes nicht verbessern können, im Gegenteil: sie wird dadurch höchstens gestört“ (ebd., 53).

Mit der Bewegungsaufgabe „Virtuelles Pendel“, die ebenfalls als trefferorientierte Wurfbewegung zu klassifizieren ist (zur Erläuterung dieser Bewegungsaufgabe vgl. ausführlicher MÜLLER 2000, 124ff.), wurde überprüft, wie sich unterschiedliche Arten der Ergänzungsinformation auf die Trefferleistung und die Nutzung der drei Faktoren der Trefferleistung auswirken (vgl. MÜLLER 2000, 184ff.; Experiment 2). 85 Vpn sollten 160 Serien à acht Würfe in der Aneignungsphase durchführen. Neben dem „Messzeitpunkt“ (16 Blocks à zehn Serien) diente der Faktor „Ergänzungsinformation“ als unabhängige Variable. Dieser war sechsfach gestuft, wobei von einer Stufe zur nächsten zusätzlich zu den Informationen der vorherigen Stufe eine weitere hinzukam: es gab a) keine Ergänzungsinformation während der Übungsphase (Gruppe „Ohne“), b) Information über die Aufgabenanforderung der Pendelaufgabe in der Art einer Treffer-Wertemenge („Anforderung“; vgl. zur Treffer-Wertemenge Kapitel A10.1), c) Information über die Lage der mittleren Winkel-Geschwindigkeits-Kombinationen beim Abwurf in einer Serie („Stabilität“), d) Information über die Streuung von Winkel und Geschwindigkeiten beim Abwurf („Rauschreduktion“), e) Information über die Form der Winkel-Geschwindigkeits-Menge beim Abwurf („Aufgabendienliche Kovariation“) und f) verbale Erläuterungen, Korrekturen und Motivation durch einen Trainer („Trainer“). Als wesentlicher Befund zeigt sich kein Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der Leistungsveränderungen von Block 1 zu Block 13. Bezogen auf die Nutzung des Faktors Rauschen bleibt diese von der bereitgestellten Ergänzungsinformation unbeeinflusst: weder nutzt ihn die Gruppe ohne Ergänzungsinformation schlechter als die

anderen Gruppen, noch ist die spezifische Information bzgl. des Rauschens in den Ausführungsgrößen dazu geeignet, eine bessere Nutzung dieses Faktors gegenüber den Gruppen mit geringerer Information herbeizuführen; auch bringt der Einsatz eines Trainers gegenüber den anderen Informationsbedingungen zur besseren Nutzung dieses Faktors keinen Vorteil.

Bis zu diesem Punkt muss aufgrund vorliegender empirischer Befunde ernüchternd festgestellt werden, dass zusätzliche Ergänzungsinformation dem Lernenden nicht hilft, den Faktor „Rauschreduktion“ besser zu nutzen, d.h. eine Verringerung der Streuung in den Ausführungsgrößen wird über diese Interventionsmaßnahmen nicht erreicht.

11.1.3.2 *Lerntechnologische Beeinflussung durch spezifische Gestaltung der Übungsprozeduren*

Da in den vorliegenden Untersuchungen keine separate Bestimmung der Ausführungsvariabilität erfolgte, wird auch an dieser Stelle wiederum auf Arbeiten der Arbeitsgruppe um MÜLLER zurückgegriffen. In einer feldexperimentellen Untersuchung wurde der Frage nachgegangen, ob das Ausmaß der beobachtbaren Ausführungsvariabilität sich bei unterschiedlichen Trainingsübungen im Basketball unterscheidet (vgl. MÜLLER 2000; ausführlicher MÜLLER/REISER/DAUGS 1999; WEILER 1998). 12 Basketballspieler hatten insgesamt über sechs Wochen 540 Würfe zu absolvieren. Als unabhängige Variable wurde die Wurftrainingsform mit folgenden Stufen manipuliert: a) normale Würfe („Normalwürfe“), b) Würfe möglichst schnell hintereinander („Frequenzvariation“), c) Wechsel zwischen drei verschiedenen Wurfentfernungen („Entfernungsvariation“), d) Sprungwürfe nach einem Dribbling im Wechsel von der rechten und linken Zonenecke („Bewegungsvariation“) und e) Spurt zur Mittellinie und zurück zwischen den Würfeln („Belastungsvariation“). Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich die Variabilität im Bewegungsergebnis für alle variierten Bedingungen nicht von den Normalwürfen unterscheidet. Gleichzeitig zeigte sich jedoch auch, dass sowohl die Belastungsvariation als auch (tendenziell) die Frequenzvariation zu einer Zunahme des motorischen Rauschens führen, was unter beiden Bedingungen durch eine verbesserte Aufgabendienliche Kovariation wieder ausgeglichen wird.

In dieser Untersuchung lag das Augenmerk auf kurzfristigen Effekten der manipulierten Variablen auf die Ergebnisvariabilität und das motorische Rauschen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass trotz kurzfristiger erhöhter Ausführungsvariabilität diese dennoch langfristig (im Sinne von Lernen) verändert werden kann. In einer Folgeuntersuchung (vgl. MÜLLER 2000, 91; ausführlicher BURGARD 1997; MÜLLER/REISER/DAUGS 1999) wurde daher

konsequenterweise der Frage nachgegangen, ob unterschiedliche Arten des Wurftrainings zu überdauernden Veränderungen der Ausführungs- und Ergebnisvariabilität führen. 12 Vpn (C- und D-Kader Niveau im Basketball) sollten nach einem Vortest (zehn Serien à zehn Würfe) in den folgenden zehn Wochen dreimal pro Woche 80 Freiwürfe ausführen (2400 Würfe insgesamt). Als eine unabhängige Variable (neben dem Messzeitpunkt: Vortest vs. Nachtest) wurde die Art des Trainings manipuliert: eine Gruppe sollte versuchen, eine subjektiv bevorzugte Flugkurve des Balles möglichst exakt zu reproduzieren („Normal-Konstant“), eine andere Gruppe sollte im Wechsel mit einer etwas höheren bzw. einer etwas niedrigeren als der präferierten Flugbahn werfen („Hoch-Tief-Wechsel“). Zum Nachtest konnte eine Verbesserung der Trefferleistung gegenüber dem Vortest festgestellt werden, wobei es keine Unterschiede in der Trefferquote zwischen den beiden Gruppen gab. Auch wurden keine Unterschiede in der Vortest-Nachtest-Differenz der Ausführungsvariabilität zwischen den Gruppen festgestellt. Zwar geben diese Ergebnisse Hinweise darauf, dass die langfristige Leistungsverbesserung unabhängig von den gezielt herbeigeführten Unterschieden in der Ausführungsvariabilität während der Übungsphase sind, allerdings wurde die erhöhte Ausführungsvariabilität der Gruppe „Hoch-Tief-Wechsel“ während der Übungsphase nicht durch eine Erhöhung des Rauschens erreicht.

An dieser Stelle bleibt ebenfalls festzuhalten, dass vorliegende Untersuchungen dafür sprechen, dass das motorische Rauschen durch eine spezifische Übungsauswahl und -abfolge nicht überdauernd beeinflusst werden kann. Zwar zeigen kurzfristige Effekte verschiedener Interventionen eher eine Erhöhung der Ausführungsvariabilität, allerdings weist MÜLLER (2000, 93) darauf hin, dass es langfristig dennoch zu einer Verringerung kommen kann. Immerhin: die letzte Untersuchung bietet uns einen Lichtblick: Trotz einer erhöhten Ausführungsvariabilität während der Übungsphase (hier allerdings erreicht über experimentelle Manipulation) können gleich große Lernfortschritte entstehen. Da es, wie wir bereits aufgezeigt haben, keine Hinweise darauf gibt, dass die Befunde nur für eine Unterkategorie der Ausführungsvariabilität Geltung beanspruchen, könnte auch erwartet werden, dass trotz erhöhtem motorischen Rauschen (z.B. infolge einer konditionellen Belastung wie in der Untersuchung von WEILER 1998) während einer Übungsphase ein gleich großer Lernfortschritt erzielt wird.

11.2 Stabilität

Wie in Kapitel A10.2.1 bereits anschaulich beschrieben, geht es bei der Nutzung des Faktors „Stabilität“ darum, die Abwurf-Wertemenge in einen günstigen Bereich zu „verschieben“. Dabei können nach MÜLLER (2000, 94f.) folgende beiden Aspekte unterschieden werden: die

Treffersuche und die *Trefferstabilisierung*. Der Aspekt der Treffersuche beinhaltet, dass der Werfende überhaupt gültige Aufgabenlösungen findet. Der Aspekt der Trefferstabilisierung stellt darauf ab, die Abwurf-Wertemenge in einen „rauschresistenteren“ Bereich zu verlagern (vgl. dazu Abbildung 9 und Abbildung 10). Für die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ nennt MÜLLER (2000, 94) zwei Bedingungen, die erforderlich sind, damit der Faktor Stabilität über die reine Treffersuche hinaus noch im Sinne einer Trefferstabilisierung genutzt werden kann:

- Nicht-Eindeutigkeit

Die Aufgabe kann mit unterschiedlichen Kombinationen der Ausführungsgrößen gelöst werden (es handelt sich bei dieser Bewegungsaufgabe somit um ein schlecht gestelltes Problem: problem of indeterminacy, vgl. JORDAN 1990). Die Menge aller Kombinationen wurde als Treffer-Wertemenge bezeichnet (vgl. Kapitel A10.1).

- Inhomogenität

Gleich große Streuungen in den Ausführungsgrößen verursachen in verschiedenen Bereichen der Treffer-Wertemenge (also in unterschiedlichen Teilmengen) unterschiedliche Auswirkungen im Bewegungsergebnis.

Die zweite Bedingung ist jedoch nicht immer erfüllt, stellt MÜLLER fest (2000, 94). Dies kann man sich gut anhand von Golfschlägen veranschaulichen. Soll mit zwei Schlägen eine bestimmte Schlagweite erreicht werden, und sind die Längen der einzelnen Schläge die Ausführungsgrößen, ist zwar das erste Kriterium erfüllt, jedoch nicht das zweite: unabhängig davon, welches Paar von Ausführungsgrößen aus der Treffer-Wertemenge ausgewählt wird, resultiert aus einem Fehler von 50 cm im ersten Schlag immer die gleiche Wirkung auf das Ergebnis (50 cm Abweichung in der Gesamtlänge).

Hinsichtlich der *Treffersuche* gelangt MÜLLER (2000, 95), unter Bezugnahme auf die Untersuchungen von HENDERSON (1977) und MENDOZA/WICHMANN (1978), zu der Auffassung, dass Informationen über die Trefferlage zur Treffersuche zwingend erforderlich zu sein scheinen, wobei ergänzende Informationen erst dann erforderlich werden, wenn die natürlicherweise zur Verfügung stehenden Informationen diese Funktion nicht erfüllen können. Bezüglich der *Trefferstabilisierung* reicht es nicht aus, eine einzelne Bewegung hinsichtlich ihres Erfolges zu beurteilen (vgl. MÜLLER 2000, 95), um eine Bewertung bzgl. der Stabilität der Aufgabenlösung abgeben zu können. Daher ist es notwendig, die Resultate aus einer Serie von Ausführungen zusammengefasst zu betrachten, um eine Aussage über die Erfolgswahrscheinlichkeit treffen zu können.

Tabelle 5: Übersicht über Arbeiten zur Ausnutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe zum Erreichen einer höheren Trefferleistung (modif. und ergänzt nach MÜLLER 2000, 97). Nähere Erläuterungen zu den einzelnen Spalten sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die entsprechenden Angaben beziehen sich in folgender Tabelle analog auf den Faktor „Stabilität“ In der Spalte „Typ“ bezeichnet „M“ Modellrechnungen, „L“ bezeichnet, wie in Tabelle 4, eine Längsschnittuntersuchung.

Quelle	Aufgabe (Kurzbeschreibung)	Dauer (msec)	Typ Längsschnitt/Modell	Ergebnis		
				Rel.	Üb.	Int.
HAMILTON/REINSCHMIDT (1997)	Basketball-Wurf	800	M	+		
HAY (1978)	Basketball-Wurf	800	M	+		
MÜLLER (2000)	Virtuelles Pendel	160	L	+	+	+
SUST (1997)	Basketball-Wurf	800	M	+		

Auf einen wichtigen Punkt macht MÜLLER (2000, 96) noch aufmerksam: Zwar wurde erläutert, dass die Beiträge der Faktoren der Trefferleistung additiv sind (vgl. Kapitel A10.2), dies bedeutet jedoch keinesfalls, dass die Faktoren unabhängig voneinander sind. So kann die verbesserte Nutzung eines Faktors mit einer gleichzeitig schlechteren Nutzung eines anderen Faktors einhergehen. Dies konnte am Beispiel des Dartwurfs gezeigt werden, wenn Werfende mit flachem Abwurfwinkel und dazu passend hoher Geschwindigkeit werfen (vgl. ETNYRE 1998).

Es muss bis zu diesem Punkt festgestellt werden, dass bzgl. der Frage nach dem Zusammenhang von Ergebniskonstanz und dem Faktor „Stabilität“ bei Wurfbewegungen relativ wenige Arbeiten vorliegen. Die Frage nach der Relevanz, d.h. ob die Wahl eines stabileren Abwurfbereiches auch mit einer höheren Ergebniskonstanz einhergeht, wurde in den mir bekannten Arbeiten nur mittels mathematischer Modellrechnungen aufgezeigt, eine empirische Fundierung fehlt zumeist. Selten finden sich Arbeiten, die übungsbedingte Veränderungen nachweisen, nahezu gänzlich fehlen Arbeiten, die sich dem Aspekt der lerntechnologischen Beeinflussung dieses Faktors widmen. Bezogen auf die beiden letzten Aspekte konnte MÜLLER (2000) mit seiner Arbeit ein vorhandenes Forschungsdefizit ausräumen. Auch hinsichtlich der Wirkungen neuromuskulärer und zentralnervöser Beanspruchungen und ihrem Einfluss auf die Nutzung des Faktors „Stabilität“ bei Wurfbewegungen sind mir keine Untersuchungen bekannt.

11.2.1 Zum Zusammenhang von Stabilitätseigenschaften der Aufgabe und der Ergebniskonstanz

Eine Voraussetzung, um den Zusammenhang der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe und der Ergebniskonstanz zu überprüfen, ist die Verfügbarkeit eines Modells, mit dessen Hilfe die aufgabenbezogene Treffer-Wertemenge berechnet und günstige Lösungen identifiziert werden

können (vgl. MÜLLER 2000, 97). Gerade für trefferorientierte Wurfbewegungen existieren hier eine Reihe von Modellierungen (vgl. z.B. HAY 1978; HAMILTON/REINSCHMIDT 1997; SUST 1997), da bei Bekanntheit der Ausführungsgrößen (d.h. der Parameter der Flugbahn des Wurfobjekts) die physikalischen Gesetzmäßigkeiten für eine hinreichend genaue Modellierung vorliegen. Dass die Stabilitätseigenschaften einer Aufgabe von den Ausführenden auch genutzt werden, konnte nicht zuletzt MÜLLER (2000) mit seiner Untersuchung aufzeigen.

11.2.2 Übung und Nutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe

Zunächst einmal soll aufgezeigt werden, wie die stabilitätsbezogenen Eigenschaften der Aufgabe von den Ausführenden erkundet und anschließend genutzt werden. Bei GELFAND/TSETLIN (1964) finden sich im Wesentlichen drei Strategien zur Exploration der Aufgabencharakteristik: die *blinde* Suche, die *lokale* Suche und die *nicht-lokale* Suche.

In einer umfangreichen Analyse vorliegender Arbeiten findet MÜLLER (2000, 100) keine Untersuchungen, die in einem Längsschnittvergleich nachweisen konnten, dass es im Verlaufe von Übung zu einer verbesserten Ausnutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe kommt (dies betrifft insbesondere den Aspekt der Trefferstabilisierung). Konsequenterweise ist genau dies Fragestellung einer eigenen empirischen Untersuchung. MÜLLER (2000) untersuchte diese anhand einer virtuellen Pendelaufgabe (vgl. MÜLLER 2000, 155ff.; Experiment 1). Hier sollten 44 Vpn mit fünf verschiedenen Pendelkonstellationen jeweils 40 Serien à acht Würfeln (1600 Würfe) üben. Es zeigte sich, dass der Faktor „Stabilität“, sowohl in Relation zum eigenen Beitrag im weiteren Verlauf, als auch in Relation zu den beiden anderen Faktoren, in den ersten zehn Serien am stärksten genutzt wird. Der Faktor „Stabilität“ scheint also vor allem zu Beginn der Übungsphase einer bestimmten Aufgabe verstärkt genutzt zu werden.

Es kann als abschließendes Fazit dieser Untersuchung festgehalten werden, dass es im Verlaufe von Übung zu einer verstärkten Ausnutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe kommt.

11.2.3 Lerntechnologische Beeinflussbarkeit der Nutzung der aufgabenbezogenen Stabilitätseigenschaften

Wie bereits erläutert, ist es notwendig, dass dem Werfer trefferbezogene Informationen zur Verfügung stehen. Diese sind wesentliche Voraussetzung für die Treffersuche, als ein Aspekt der Stabilitätseigenschaft. Eine derartige Information steht dem Werfenden jedoch bei den meisten Wurfaufgaben üblicherweise zur Verfügung. Einzelne Untersuchungen unterbanden die Informationsquellen experimentell (z.B. HENDERSON 1977; MENDOZA/WICHMANN 1978), was eine

Beeinträchtigung der Treffersuche zur Folge hatte. Interessant sind die Befunde HENDERSONS (1978), die zeigen, dass bei rein visueller Deprivation noch eine, wenn auch ungenauere, akustische Ortung des Auftreffpunkts genutzt werden kann. Wurde auch diese entzogen, waren die Werfer vollkommen orientierungslos über das Wurfergebnis. Die Trefferleistung war reduziert.

Aus dem in Kapitel A11.2.2 gegebenen Überblick über vorliegende Arbeiten zur übungsabhängigen Veränderung der Nutzung des Faktors „Stabilität“ bei Wurfaufgaben sollte deutlich geworden sein, dass hierzu wenige Arbeiten vorliegen, insbesondere bezogen auf den Aspekt der Trefferstabilisierung. Konsequenterweise finden sich noch weniger Untersuchungen, die sich der Frage nach der Abhängigkeit der Nutzung des Faktors „Stabilität“ von der Gestaltung der Übungsbedingungen gewidmet haben.

Der Frage nach der Beeinflussbarkeit des Faktors „Stabilität“ durch ergänzende Information wurde in einer Untersuchung von MÜLLER (2000, 184ff.; Experiment 2; siehe zur näheren Erläuterung der Untersuchung Kapitel A11.1.3.1) behandelt. Es zeigte sich, dass a) die Information bzgl. der Anforderung in Form einer Treffer-Wertemenge nicht zu einer besseren Nutzung der Stabilitätseigenschaften der Aufgabe gegenüber der Bedingung ohne Ergänzungsinformation führt, b) die auf den Faktor „Stabilität“ abstellende Istwert-Information in Form einer mittleren Winkel-Geschwindigkeits-Kombination für diese Serie ebenfalls den beiden vorangegangenen Informationsarten nicht überlegen ist, c) ein Trainer-Hinweis bezogen auf die Stabilitätsanforderungen gegenüber den vorherigen Informationsbedingungen jedoch zu einer besseren Nutzung des Faktors „Stabilität“ führt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass gerade für trefferorientierte Wurfbewegungen mathematische Modellierungen vorliegen, die Stabilitätseigenschaften für diese Bewegungsklasse aufzeigen. Eine empirische Untersuchung von MÜLLER (2000) konnte nachweisen, dass diese vom Ausführenden auch genutzt werden. Zugleich zeigte er, dass der Faktor Stabilität prinzipiell durch Übung stärker genutzt werden kann, dies jedoch hauptsächlich zu Beginn eines Übungsprozesses von Bedeutung ist. Schließlich ist er über eine adäquate Ergänzungsinformation lerntechnologisch beeinflussbar.

11.3 Aufgabendienliche Kovariation

Sowohl bei längerdauernden, als auch bei kurzdauernden Bewegungen zeigt sich, dass man das gleiche Bewegungsergebnis über unterschiedliche Bewegungsausführungen erreichen kann. MÜLLER (2000, 103) beschreibt dieses Phänomen treffend mit dem Sprichwort „Viele

Wege führen nach Rom“. So bezeichnet bspw. BERTALANFFY (1952) in offenen physikalischen Systemen das Erreichen eines bestimmten Systemzustandes von unterschiedlichen Ausgangsbedingungen und über unterschiedliche Wege als *Äquifinalität*. Diese Definition korrespondiert mit dem „vicarious functioning“ des Behaviorismus (zu diesem Aspekt werden HUNTER, BORING, BRUNSWIK und andere Autoren als Bezug angegeben, leider ohne jedoch eine konkrete Quelle zu nennen), d.h. dem Erreichen eines gleichen Bewegungsergebnisses über unterschiedliche Bewegungsausführungen. Ein ähnlicher Sachverhalt wird durch den Begriff der *motorischen Äquivalenz* beschrieben, worunter die Erzeugung gleicher Bewegungsleistungen durch Kombination verschiedener Körperteile, Muskelgruppen und Gelenke verstanden wird (vgl. z.B. KELSO/DING 1993; STELMACH/DIGGLES 1982). Als einen Oberbegriff, der diese beiden Phänomene einschließt, nennen NITSCH/MUNZERT (1997) die *Gestaltkonstanz*. Sie sprechen davon, wenn die Konstanz des Bewegungsergebnisses trotz Variation bestimmter Teildeterminanten aufrechterhalten wird.

Auch VON WEIZSÄCKER (1940) hatte bereits daraufhin hingewiesen, dass

„derselbe Erfolg, nämlich das Gleichgewicht oder die Erreichung eines Zieles oder die Erfüllung einer Aufgabe auf dem Wege verschiedener Innervationen bzw. Koordinationen geschieht [... d.h.] durch die mögliche Verschiedenartigkeit der Innervationen und Koordinationen ist die Leistung garantiert“ (VON WEIZSÄCKER 1940, 4).

Zusammenfassend stellt er fest, dass

„wir für die Leistungen am besten ein *Prinzip der Erreichung des gleichen Erfolges auf verschiedenen Wegen* verwenden“ (VON WEIZSÄCKER 1940, 4; Hervorhebung im Original gesperrt).

Im folgenden Kapitel werden Befunde angeführt, die das Phänomen Aufgabendienlicher Kovariation bei einer Vielzahl menschlicher Bewegungen empirisch nachweisen. Ich werde mich, der Thematik entsprechend, zwar auf Wurfaufgaben konzentrieren, dieses Phänomen jedoch auch bei anderen Bewegungsaufgaben kurz darstellen. Dass Aufgabendienliche Kovariation auch bei schnellen Wurfbewegungen gefunden wird, für die aufgrund physiologischer Reizlaufzeiten (vgl. im Überblick MÜLLER 2000, 66) keine Korrekturen möglich sind (oder um in den Begrifflichkeiten des Sprichwortes zu bleiben: „keine Zeit verbleibt, um nach dem Weg nach Rom zu fragen“), ist zunächst überraschend, wie MÜLLER (2000, 104) feststellt. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund soll ebenfalls im Anschluss präsentiert werden.

Tabelle 6: Übersicht über Arbeiten zur Nutzung von Aufgabendienlicher Kovariation bei Wurfbewegungen zum Erreichen einer höheren Trefferleistung (modif. und ergänzt nach MÜLLER 2000, 106). Nähere Erläuterungen zu den einzelnen Spalten sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die entsprechenden Angaben beziehen sich in folgender Tabelle analog auf den Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ In der Spalte Typ bedeutet „E“ Einzeltest (die anderen Angaben haben ihre Bedeutung wie zuvor).

Quelle	Aufgabe (Kurzbeschreibung)	Dauer (msec)	Typ Quer- /Längsschnitt bzw. Einzeltest	Ergebnis		
				Rel.	Üb.	Int.
ANDERSON/PITCAIRN (1986)	Dartwurf	160	E	+		
KUDO/TSUTSUI/ ISHIKURA/ITO/ YAMAMOTO (2000)	Wurfbewegung	o.A.	L	+	+	
LOOSCH (1995)	Dartwurf	160	Q	+	+	
MCDONALD/VAN EMMERIK/NEWELL (1989)	Dartwurf	160	Q	+	+	
MÜLLER (2000)	Virtuelles Pendel	160	L	+	+	+
MÜLLER/LOOSCH (1999)	Virtueller Dartwurf	160	L	+	+	
REISER/MÜLLER/ DAUGS (1997a); REISER/MÜLLER/ DAUGS (1997b); MÜLLER/REISER/ DAUGS (1999)	Basketball-Wurf, Boule-Wurf, Virtueller Dartwurf	800/160	L/Q	+	+	0
STIMPEL (1933)	Wurfbewegung	ca. 600	L	+		

11.3.1 Zum Zusammenhang von Aufgabendienlicher Kovariation und Ergebniskonstanz

Das Phänomen der motorischen Äquivalenz wurde z.B. für die Sprachproduktion nachgewiesen (vgl. ABBS/COLE 1987). Es zeigt sich eine Kovariation der Bewegungen von Ober-, Unterlippe und Kiefer in Richtung einer Kompensation, so dass der erforderliche Lippenabstand zur Lautbildung erreicht wird. Auch bei Bewegungen, bei denen bestimmte Bewegungsgrößen nicht zeitgleich (wie im erläuterten Beispiel), festgelegt werden, sondern nacheinander, zeigt sich das Phänomen der Aufgabendienlichen Kovariation. Exemplarisch kann hier die Untersuchung von LEE/LISHMAN/THOMSON (1982) angeführt werden, die nachweist, dass aufsummierte Abweichungen der Anlaufschritte beim Weitsprung auf den letzten Schritten kompensatorisch ausgeglichen werden (vgl. auch BERG/WADE/GREER 1994).

Eine Reihe von Arbeiten aus der Schule der Leipziger Gestaltpsychologie um OTTO KLEMM zeigen ebenfalls bereits in den 1930er Jahren aufgabendienliche Kovariation. Sie kommen alle zu dem Schluss, dass das „lebendige Ganze [...] also wesentlich besser und genauer [geschieht] als die bloßen Schwankungen der Teilstücke es nach sich ziehen müsste“ (VOIGT 1933, 21). So zeigte VOIGT (1933) für einen Zielsprung, dass die Streuung der Sprungweite geringer war, als es aufgrund des mechanischen Zusammenwirkens der Streuungen von Absprungwinkel und Absprunggeschwindigkeit zu erwarten gewesen wäre. DRILL (1933) fand, dass sich bei der Zusammenarbeit zweier Vpn, die mit Hammerschlägen ein Metallstück bearbeiten sollten, eine Stabilität der räumlichen Formung der Hammerschläge herausbildet. Für diese Bewegung zeigt sich, dass die Streuung der Gesamtschlagdauer der einzelnen Hammerschläge geringer ist, als die Streuungen der Hub- und der Schlagdauer hätten erwarten lassen. Auf die Untersuchung von STIMPEL (1933), der sich mit einer Wurfbewegung beschäftigte, soll unten ausführlicher eingegangen werden. Diese Beispiele stehen stellvertretend für eine Reihe unterschiedlicher Bewegungen, bei denen sich Kovariation zeigt. Eine umfangreiche Analyse vorliegender Befunde zu dieser Thematik (vgl. ausführlich MÜLLER 2000, 104ff.) lässt MÜLLER (vgl. ebd.) zu dem Schluss kommen, dass sich Kovariation bei Bewegungen von unterschiedlicher Dauer und mit unterschiedlichen Zielanforderungen hinsichtlich räumlicher bzw. zeitlicher Genauigkeit beobachten lässt (ebd., 107). Da diese Arbeit auf kurzdauernde trefferorientierte Wurfbewegungen abstellt, soll der Hauptaugenmerk speziell auf diese Aufgabenklasse gerichtet werden. Für diese Bewegungsaufgabe stellt KLEMM bereits 1938 fest:

„Die Treffsicherheit eines Wurfes ist in der Hauptsache von dem richtigen Wurfwinkel und der richtigen Wurfstärke abhängig. Zuverlässige Messungen lehrten nun: die Schwankungen der einzelnen Würfe um das Ziel können merklich kleiner sein als die Schwankungen jener Teilbestimmungen“ (KLEMM 1938, 391).

Die Frage, wie dies zugehen könnte, beantwortet er weiter:

„[...] mit dem etwas weniger weittragenden Winkel paart sich von selbst eine etwas größere Wurfstärke und umgekehrt. ‚Von selbst‘: darin liegt das Geheimnis.“ (KLEMM 1938, 391).

Bevor eine Erklärung angeführt wird, wie sich Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit „von selbst“ zusammenfügen, so dass das Ergebnis konstant bleibt, sollen Befunde aufgeführt werden, die Kovariation bei Wurfbewegungen aufzeigen. McDONALD/VAN EMMERIK/NEWELL (1989) finden beim Dartwurf relativ variable Bewegungen in den beteiligten Gelenken, jedoch eine recht stabile Trajektorie der Hand und eine Reduktion der Variabilität zum Abwurfpunkt hin.

Dies spricht eben für Aufgabendienliche Kovariation in den beteiligten Gelenken. Auch ANDERSON/PITCAIRN (1986) können zeigen, dass die Bewegungen in den beteiligten Gelenken des Armes derart kovariieren, dass die Variabilität zum Abwurfpunkt hin reduziert wird. Erfassen die angeführten Arbeiten die Variabilität der Verläufe einzelner Körperpunkte, so finden sich außerdem zahlreiche Arbeiten, die die Unterschiedlichkeit der Flugparameter des Wurfobjektes erfassen. Da die Variabilität der resultierenden Flugbahnen die ergebnisrelevante Summe aller vorausgegangenen Abweichungen der Bewegungen des Werfers beinhaltet, kann diese nach MÜLLER (2000, 108) als pauschales Maß für die Ausführungsvariabilität angesehen werden. Aus der Schule der Leipziger Gestaltpsychologie um OTTO KLEMM in den 1930er Jahren stammt die erste Arbeit, die beansprucht, Kovariation auch in diesem Summenmaß nachzuweisen. Die Bewegungsaufgabe in der Untersuchung von STIMPEL (1933) bestand für die Vp darin, eine Billardkugel mit einem Wurf von unten (ähnlich dem Spiel Boule) auf eine horizontale Zielfläche zu werfen. MÜLLER (2000, 108) aber stellt fest, dass das von STIMPEL verwendete Berechnungsverfahren nicht korrekt ist. Eine Reanalyse der Originaldaten mit einem korrekten Berechnungsverfahren durch MÜLLER/REISER (1999) zeigte nämlich dann, dass die in der Originalarbeit signifikanten Ergebnisse die gesetzte Signifikanzschranke von 5% nicht mehr unterschreiten. Damit ist Kovariation in den von STIMPEL (1933) ermittelten Daten nicht nachzuweisen. Diesen Ansatz von STIMPEL hat LOOSCH (1995) auf den Dartwurf übertragen, wobei er fotometrisch die Abwurfparameter (Abwurfposition, Abwurfgeschwindigkeit sowie vertikalen und horizontalen Abwurfwinkel) und die Trefferlage auf der Zielscheibe bestimmte. Zwar stellt er fest, dass die Variabilität im Bewegungsergebnis geringer ist, als aufgrund der Streuung in den Abwurfparametern zu erwarten gewesen wäre, jedoch gab es auch hier Einwände gegen das verwendete Berechnungsverfahren (vgl. MÜLLER/REISER 1999). Eine Neuberechnung verstärkte den gefundenen Effekt sogar und bestätigte das Auftreten von Kovariation (vgl. auch MÜLLER/LOOSCH 1999). Diese spielt jedoch nur in der vertikalen Dimension eine Rolle, was aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten aber auch nicht anders zu erwarten ist.

MÜLLER (2000, 109) gibt allerdings zu bedenken, dass die gesamte Dartwurfbewegung mit 160 msec sehr kurz ist und der relevante Abschnitt (also das Zeitfenster, in dem der Pfeil abgeworfen wird) sogar nur ca. 10 msec umfasst (vgl. auch HORE/WATTS/MARTIN/MILLER 1995; vgl. auch Kapitel A3.3.2.1)¹⁸. Obwohl das motorische System unter diesen zeitlichen

¹⁸ Da 95% aller Werte bei einer Normalverteilung im Bereich $\bar{x} \pm 2s$ liegen, definieren HORE/WATTS/MARTIN/MILLER (1995) dieses Intervall als das relevante Zeitfenster, d.h. die Standardabweichung wird mit dem Faktor vier multipliziert, um die Größe des Zeitfensters zu erhalten.

Bedingungen keine Möglichkeit zur Korrektur hat, zeigt sich eine Anpassung wurfrelevanter Parameter. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen bietet das Konzept äquifinaler Bewegungsbahnen (vgl. REISER i.V.; REISER/MÜLLER 1999), das nun in einem kurzen Exkurs vorgestellt werden soll.

Exkurs: Das Konzept äquifinaler Bewegungsbahnen

Für die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ kann man sämtliche Winkel-Geschwindigkeits-Kombinationen berechnen, die zu einem Treffer im Mittelpunkt der Dartscheibe führen. Eine „Aneinanderreihung“ aller Kombinationen ergibt eine Bewegung, bei der für jeden durchlaufenen Winkel, d.h. zu jedem Zeitpunkt, die passende Geschwindigkeit vorliegt (vgl.

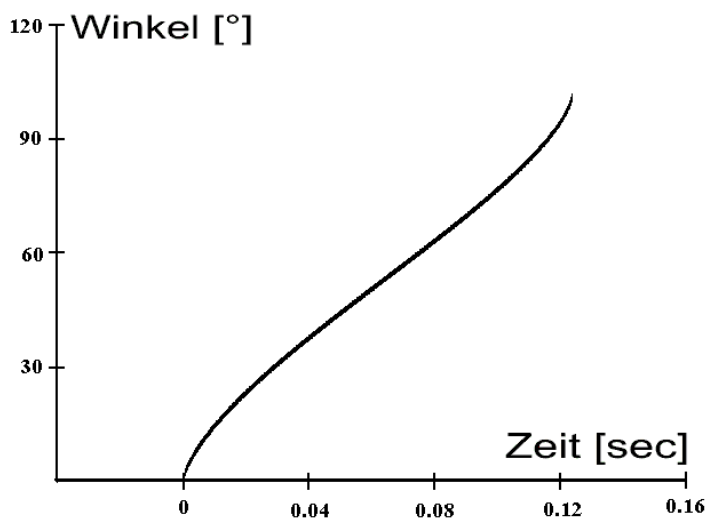


Abbildung 13: Winkel-Zeit-Verlauf einer vollständig äquifinalen Bewegungsbahn beim virtuellen Dartwurf (modif. nach MÜLLER 2000, 109).

Abbildung 13). Bei einer solchen Bewegung könnte der Werfer zu jedem beliebigen Zeitpunkt abwerfen, er würde immer treffen. Eine derartige Bewegung wird in Anlehnung an REISER (i.V.) und MÜLLER (2000) als *äquifinale Bewegung* bezeichnet. Eine solche idealisierte Bewegung ist nicht über den gesamten Verlauf realisierbar (zu Beginn und am Ende wären

unendlich hohe Geschwindigkeiten und entsprechende Beschleunigungen erforderlich); MÜLLER (2000, 110) merkt jedoch an, dass es ausreichend sei, wenn in dem wurfrelevanten Zeitfenster, in dem normalerweise die Abwurfzeitpunkte variieren (ca. 10 msec; vgl. HORE/WATTS/MARTIN/MILLER 1995), eine Übereinstimmung mit der äquifinalen Bahn erreicht wird.

Empirische Befunde dazu liegen vor (vgl. REISER i.V.). Ihnen zufolge bestehen Zusammenhänge zwischen den Größen Trefferleistung, Aufgabendienliche Kovariation und Äquifinalitätsindex (berechnet als Annäherung der realisierten Bewegungsbahn an die äquifinale

Bewegungsbahn im relevanten Zeitfenster; vgl. auch MÜLLER 2000; MÜLLER/LOOSCH 1999; MÜLLER/REISER/DAUGS 1998).

Nach diesem kurzen Exkurs zur Erklärungsmöglichkeit des Phänomens der Aufgabendienlichen Kovariation auch bei zeitlich kurzen Bewegungen, sollen nun weitere empirische Befunde der Arbeitsgruppe um MÜLLER vorgestellt werden. In der Untersuchung „Basketballwürfe auf unterschiedlichem Könnensniveau“ (vgl. MÜLLER 2000; MÜLLER/REISER/DAUGS 1999) zeigte sich, dass für die untersuchte Stichprobe (Bundesligaspieler und Sportstudierende) im Mittel 40% der in der Bewegungsausführung vorhandenen Variabilität durch Aufgabendienliche Kovariation kompensiert werden, wobei sich kein Unterschied zwischen den beiden Stichproben zeigt. In der Untersuchung „Akute Einflüsse von Wurfvariationen im Basketballtraining“ (vgl. MÜLLER 2000; MÜLLER/REISER/DAUGS 1999; WEILER 1998) konnte festgestellt werden, dass eine Variation der Belastung, die zu einer Erhöhung der Ausführungsvariabilität führte (vgl. Kapitel A11.1.3.2), durch eine stärkere Nutzung Aufgabendienlicher Kovariation ausgeglichen werden konnte. Der gleiche Befund zeigte sich tendenziell auch für eine Variation der Wurffrequenz. KUDO/TSUTSUI/ISHIKURA/ITO/YAMAMOTO (2000) konnten ebenfalls mit einem Wurf von unten auf eine horizontale Zielfläche zeigen, dass die Variabilität im Bewegungsergebnis durch Aufgabendienliche Kovariation um 6% vermindert ist.

Es kann abschließend festgestellt werden, dass sich Aufgabendienliche Kovariation sowohl bei langsamen (was jedoch aufgrund aktuell zur Korrektur nutzbaren Feedbacks nicht verwunderlich ist), als auch bei schnellen ballistischen Bewegungen, speziell bei trefferorientierten Wurfbewegungen, zeigt und zu einer Erhöhung der Trefferleistung beiträgt. Mit dem Konzept äquifinaler Bewegungsbahnen liegt für diese Bewegungsklasse eine Erklärungsmöglichkeit für das Phänomen der Aufgabendienlichen Kovariation vor.

11.3.2 Übung und Nutzung Aufgabendienlicher Kovariation

Dass Aufgabendienliche Kovariation trotz ihrer nachgewiesenen Relevanz nicht unbedingt an der Verbesserung der Trefferleistung im Verlaufe von Übungsprozessen beteiligt sein muss, stellt MÜLLER (2000, 113) mit dem Hinweis fest, dass vor dem Hintergrund des Konzepts äquifinaler Bewegungsbahnen auch andere Erwartungen abgeleitet werden könnten. Die große Mehrzahl der vorliegenden Befunde zeigt allerdings, dass dieser Faktor Übungsbedingt besser genutzt wird.

MCDONALD/VAN EMMERIK/NEWELL (1989) finden in der von ihnen untersuchten Dartwurfaufgabe im Verlaufe von Übung eine *Abnahme* der Korrelation zwischen den Bewegungen einzelner

Körperwinkel bei gleichzeitiger Verringerung der Ergebnisvariabilität und interpretieren dies als übungsbedingte Zunahme Aufgabendienlicher Kovariation. MÜLLER (2000, 114f.) merkt an dieser Stelle zu Recht an, dass diese kontraintuitive Interpretation, durch Verringerung der Kovariation werde auf eine verstärkte Nutzung des Faktors Aufgabendienliche Kovariation geschlossen, nicht unmittelbar einsichtig ist und verweist auf die entscheidende Spezifizierung „aufgabendienlich“. Eben diese Aufgabendienliche Kovariation entwickle sich erst, wenn die strikte lineare und gleichgerichtete Bindung der Gelenkwinkelveränderungen, wie sie in frühen Phasen der Ontogenese und des motorischen Lernens vorhanden ist, aufgelöst wird (vgl. MÜLLER 2000, 115). McDONALD/VAN EMMERIK/NEWELL (1989) stellen fest, dass sich a) die direkte lineare Korrelation von Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenkwinkel auflöst, b) die Bewegungstrajektorie der Hand gleichzeitig konstant bleibt und c) die Trefferleistung zunimmt. Es hat sich also eine Ergebniskonstanz sichernde, d.h. *aufgabendienliche* Beziehung zwischen den Gelenkwinkeln eingestellt (vgl. MÜLLER 2000, 115).

In einer Untersuchung zum virtuellen Dartwurf (vgl. MÜLLER 2000, 114; ausführlicher LEINENBACH 1998; REISER i.V.) übten 17 Vpn diese Bewegungsaufgabe über zehn Termine mit insgesamt 180 Serien à acht Würfeln (insgesamt 1440 Würfe). Parallel dazu wurde von den Vpn auch der Wurf von unten virtuell geübt, wobei die Reihenfolge der Übungsdurchgänge „von oben“ bzw. „von unten“ ausbalanciert wurde. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die kovariationsbedingte Reduktion der Ergebnisvariabilität bei beiden Wurftechniken mit zunehmender Übung steigt. In einer weiteren Untersuchung von MÜLLER (2000, 155ff.) zeigte sich, dass der Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ bei einer virtuellen Pendelbewegung mit zunehmender Übung stärker genutzt wird. Auch KUDO/TSUTSUI/ISHIKURA/ITO/YAMAMOTO (2000) finden bei ihrer Wurfaufgabe mit zunehmender Übung eine stärkere Nutzung des Faktors Aufgabendienliche Kovariation.

Es kann festgehalten werden, dass eine ganze Reihe von Arbeiten zeigen, dass der unter bestimmten Bedingungen schon zu Beginn der Übungsphase hohe Anteil des Faktors Aufgabendienliche Kovariation an der Trefferleistung durch Übung noch weiter gesteigert werden kann.

11.3.3 Lerntechnologische Beeinflussbarkeit der Nutzung von Aufgabendienlicher Kovariation

In starkem Gegensatz zu der Aufmerksamkeit, die dem Faktor Aufgabendienliche Kovariation in der Literatur gewidmet wurde, steht die Frage nach seiner lerntechnologischen Beeinflussbarkeit. Dazu liegen bisher lediglich Arbeiten der Arbeitsgruppe um MÜLLER vor. In

einer Untersuchung zu langfristigen Wirkungen von Wurfvariationen im Basketball (vgl. MÜLLER 2000, 91; ausführlicher BURGARD 1997; MÜLLER/REISER/DAUGS 1999; siehe auch Kapitel A11.1.3.2) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Vortest-Nachtest Differenz der Nutzung Aufgabendienlicher Kovariation. Eine weitere Untersuchung zu „Basketballwürfe und verbale Ergänzungsinformation“ (vgl. MÜLLER 2000, 89; ausführlicher MÜLLER/REISER/DAUGS 1999, siehe auch Kapitel A11.1.3.1) zeigte, dass Vpn, die über ihr Ausmaß an Aufgabendienlicher Kovariation informiert wurden, diesen Faktor nicht stärker nutzen konnten, als jene, die über das Rauschen in ihren Ausführungsgrößen informiert wurden. In seiner Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Ergänzungsinformationen auf die Nutzung der Faktoren der Trefferleistung (vgl. MÜLLER 2000, 184ff.; siehe auch A11.1.3.1) konnte MÜLLER zeigen, dass Informationen über das Ausmaß an Aufgabendienlicher Kovariation in Form einer Abwurf-Wertemenge zu einer stärkeren Nutzung dieses Faktors führt als keine Zusatzinformation bzw. Zusatzinformationen über die Treffer-Wertemenge, die mittlere Winkel-Geschwindigkeits-Kombination im Abwurf und die Streuung der Abwurfparameter. Eine noch stärkere Nutzung der Aufgabendienlichen Kovariation kann über entsprechende Trainerhinweise erzielt werden. Dieser Befund ist der einzig bisher vorliegende, der nachweist, dass der Faktor Aufgabendienliche Kovariation durch entsprechende Ergänzungsinformation stärker genutzt werden kann. Dass eine spezifische Gestaltung der Übungsprozedur zu einer stärkeren Nutzung dieses Faktors führt, konnte bisher hingegen nicht aufgezeigt werden. Wie MÜLLER (2000, 118) feststellt, reduziert sich das Lernproblem, im Falle, dass die gewünschten faktorspezifischen Leistungsgewinne durch die Annäherung an eine bestimmte Bewegungstrajektorie erreicht werden können, auf die Aneignung dieser Trajektorie. Weitere Untersuchungen in diesem Themenfeld sollten sich aus meiner Sicht daher verstärkt der Frage zuwenden, ob über entsprechende Soll- bzw. Istwert-Informationen bzgl. der Bewegungstrajektorie schneller oder stärker gelernt werden kann, und ob über spezifisch gestaltete Übungsprozeduren das Aneignen dieser Bewegungstrajektorie ebenfalls beeinflusst werden kann.

Tabelle 7 zeigt noch einmal zusammenfassend die Befundlage bzgl. der Relevanz, der Übungsabhängigkeit und möglicher Beeinflussbarkeit durch Interventionsmaßnahmen für die drei Faktoren der Veränderung der Trefferleistung.

Da hinsichtlich der positiven Interventionsmaßnahmen erst wenige Befunde vorliegen, der Faktor Rauschen gar über Interventionsmaßnahmen nicht beeinflussbar scheint, hingegen zahlreiche

Tabelle 7: Zusammenfassende Übersicht über die Befunde zu den drei Faktoren hinsichtlich ihrer Relevanz, ihrer Übungsabhängigkeit und möglicher Interventionsmaßnahmen (die Bedeutung der Symbolik entspricht der in den vorherigen Tabellen; Fettdruck drückt aus, dass die Aussage durch zahlreiche Befunde gestützt wird, Normaldruck drückt aus, dass hierzu erst wenige Befunde vorliegen).

	Relevanz	Übung	Intervention
Rauschreduktion	+	+	0
Stabilität	+	+	+
Aufgabendienliche Kovariation	+	+	+

Befunde dafür sprechen, dass durch Übung alle Faktoren positiv zu beeinflussen sind, wird als Konsequenz für die Gestaltung der

Aneignungsphase in den Experimenten entschieden, die Probanden die motorische Aufgabe lediglich über hinreichendes Üben aneignen zu lassen und auf zusätzliche Interventionsmaßnahmen zu verzichten.

12 Ein spezifisches Drei-Faktoren-Modell für trefferorientierte Wurfbewegungen

Das in Kapitel A7 bereits vorgestellte Drei-Faktoren-Modell (vgl. OLIVIER 1997) stellt ein theoretisches Rahmenmodell dar, das den Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung einer (sport-)motorischen Bewegung über (analytisch getrennte) zentralnervöse und neuromuskuläre Beanspruchungen beschreibt. Dieses Modell soll nun für die spezielle Bewegungsklasse „trefferorientierte Wurfbewegungen“ präzisiert werden.

Betrachten wir zunächst eine wesentliche Veränderung des allgemeinen Drei-Faktoren-Modells (vgl. OLIVIER 1997) gegenüber seiner ursprünglichen Form (vgl. OLIVIER 1996a). Das ursprüngliche Modell beschreibt den Einfluss konditioneller Belastungen auf die Ausführungsleistung, also das *Bewegungsergebnis*, die aktuelle Version den Einfluss konditioneller Belastungen auf die *Bewegungsausführung*. Diese Änderung wurden in Kapitel A7 bereits kurz angesprochen. In den vorangegangenen Kapiteln konnte nun aufgezeigt werden, dass eine veränderte Bewegungsausführung nicht zwingend zu einem veränderten Bewegungsergebnis führen muss. So kann beispielsweise mit unterschiedlichen Winkel-Geschwindigkeits-Kombinationen eine gleiche Trefferleistung auf der Dartscheibe erzielt werden. Man spricht dann bei dieser Bewegungsaufgabe aufgrund der Nicht-Eindeutigkeit (vgl. Kapitel A11.2) von einem schlecht gestellten Problem (vgl. JORDAN 1990). Deshalb wird vorgeschlagen, die Aussagen beider Modellvarianten in ein Modell zu integrieren. Diese erweiterte Modellfassung zeigt Abbildung 14.

Demnach wirken sich die konditionellen Belastungen über die hervorgerufenen Beanspruchungen und in Abhängigkeit von den Charakteristika der motorischen Aufgabe, wie in Kapitel A7 bereits beschrieben, auf die Bewegungsausführung aus. Wie nun die Bewegungsausführung das Bewegungsergebnis beeinflusst, ist wiederum vom Zusammenhang der zur Beschreibung der Bewegungsausführung herangezogenen Größen und der zur Beschreibung des Bewegungsergebnisses herangezogenen Größen abhängig. Zieht man z.B. bei einer Wurfbewegung als ausführungsbezogene Parameter Abwurfgeschwindigkeit und vertikalen Abwurfwinkel heran und als ergebnisbezogenen Parameter die Trefferleistung, so besteht zwischen diesen Größen ein multipler nicht-linearer Zusammenhang. Mit unterschiedlichen Winkel-Geschwindigkeits-Kombinationen kann dennoch eine gleiche Trefferleistung erbracht werden.

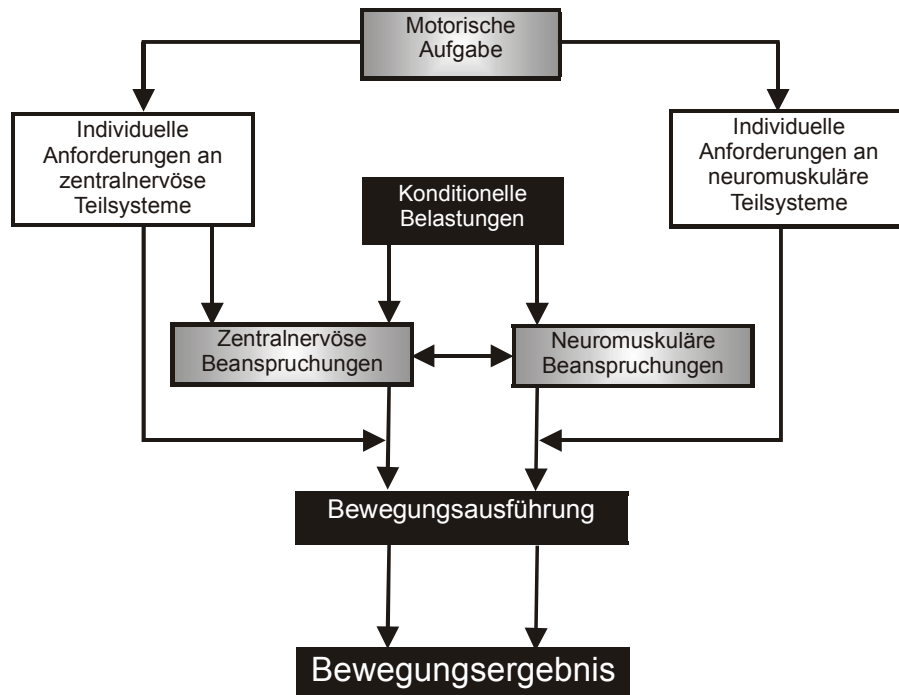


Abbildung 14: Drei-Faktoren-Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung und über diese auf das Bewegungsergebnis (modif. und ergänzt nach OLIVIER 1997).

Allgemein gesprochen, muss sich bei einer solchen Bewegungsaufgabe eine veränderte Bewegungsausführung nicht in einem veränderten Bewegungsergebnis auswirken. So können neuromuskuläre Beanspruchungen infolge einer konditionellen Belastung dazu führen, dass eine hypothetische Abwurfgeschwindigkeit von 6 m/s auf dem gegebenen Beschleunigungsweg nicht mehr erreicht werden kann. Würde eine geringere Abwurfgeschwindigkeit allerdings mit einem passenden Abwurfwinkel kombiniert, würde das intendierte Bewegungsergebnis dennoch erreicht. Zieht man hingegen bei einem counter movement jump die vertikale Abfluggeschwindigkeit als ausführungsbezogenen Parameter heran und die Sprunghöhe als das Bewegungsergebnis, so ist aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen diesen beiden Größen mit einem veränderten Wert der Abfluggeschwindigkeit eines Probanden eine entsprechend veränderte KSP-Flughöhe verbunden. Allgemein wirkt sich somit eine Veränderung in der Bewegungsausführung auch im Bewegungsergebnis aus. Wir können an dieser Stelle also festhalten: Führen konditionelle Belastungen dazu, dass die Anforderungen der motorischen Aufgabe anders als in der unbelasteten Situation erfüllt werden, resultiert ein entsprechender Effekt auf die Bewegungsausführung. Ob sich dieser Effekt auch im Bewegungsergebnis niederschlagen wird, hängt dann vom Zusammenhang zwischen den zur Beschreibung der Bewegungsausführung und den zur Beschreibung des Bewegungsergebnisses herangezogenen Größen ab.

Wenn sich das Bewegungsergebnis, wie im Falle der beschriebenen Wurfbewegung die Trefferleistung, als eine bestimmte Konstanzleistung in einer Serie ergibt, so kann das Drei-Faktoren-Modell für unsere spezielle Fragestellung erweitert werden (vgl. Abbildung 15). Die Effekte konditioneller Belastungen wirken sich weiterhin auf die einzelnen Bewegungsausführungen aus. Vergleicht man nun eine Wurfserie, die ohne vorherige konditionelle Belastung und dementsprechend ohne daraus resultierende neuromuskuläre oder zentralnervöse Beanspruchungen durchgeführt wurde, mit einer Wurfserie im Anschluss an eine vorhergehende Belastung, so kann man über das von MÜLLER (1997a; 2000) entwickelte Verfahren die Veränderung der Trefferleistung und die Beiträge der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung berechnen und auf das induzierte experimentelle Treatment zurückführen.

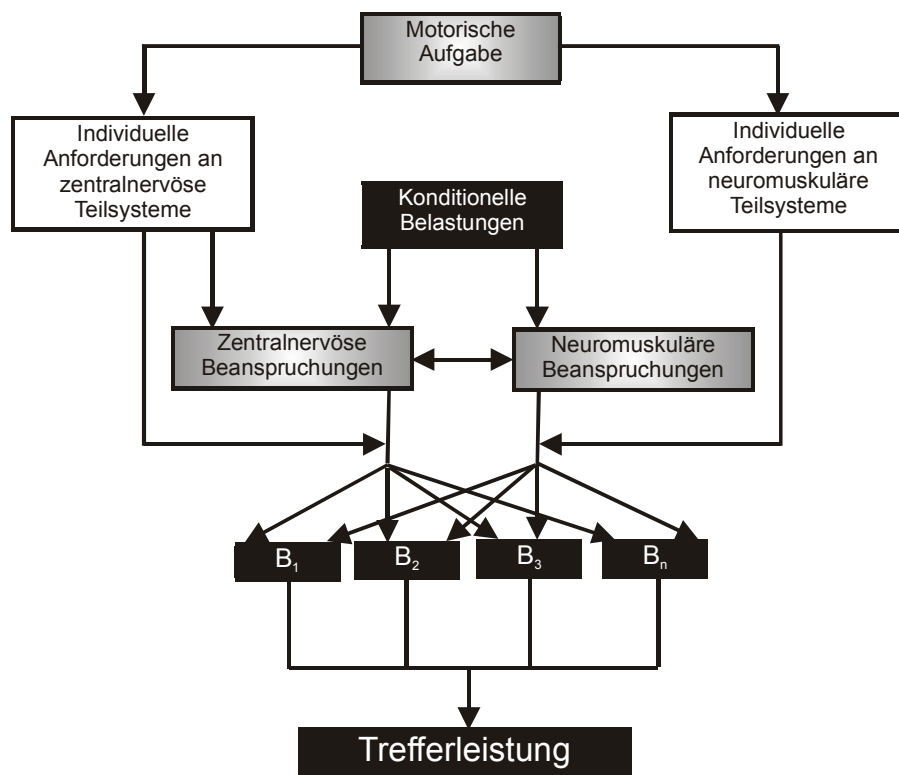


Abbildung 15: Drei-Faktoren-Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Ausführungsleistungen einzelner Bewegungen, die in ihrer Gesamtheit die Trefferleistung als Konstanzleistung ergeben (B_1 bis B_n sind einzelne Wurfbewegungen).

Betrachten wir uns nun die Anforderungen der motorischen Aufgabe an neuromuskuläre und zentralnervöse Teilsysteme. Trefferorientierte Wurfbewegungen sind zunächst als Absolutaufgaben hinsichtlich ihrer Anforderungen an neuromuskuläre Teilsysteme zu charakterisieren, d.h. es werden von den relevanten neuromuskulären Teilsystemen, unabhängig von der individuell vorhandenen maximalen Ressourcenkapazität, bestimmte

absolute Kapazitäten gefordert. So muss jeder Werfer, unabhängig von seiner zur Verfügung stehenden Ressourcenkapazität, dem Wurfobjekt, das sich an einem bestimmten Punkt im Raum befindet, über einen bestimmten Kraftstoß einen geeigneten Bewegungsimpuls verleihen, um das Ziel zu treffen. Diese Anforderungen werden wir im Folgenden auf der kinematischen Ebene beschreiben, die für diese Fragestellung auch die Analyseebene darstellt, ohne jedoch die dynamische Ebene als grundlegende Bezugsebene zu vernachlässigen.

Auf einer qualitativen Ebene stellen trefferorientierte Wurfbewegungen auf Seiten neuromuskulärer Teilsysteme Anforderungen an bestimmte Muskelgruppen. Welche Muskelgruppen dies sind, hängt von der speziellen trefferorientierten Wurfbewegung ab. Bei einem Sprungwurf im Basketball ist z.B. neben den Muskelgruppen der Arme ebenfalls die Strecksehne der Beine involviert. Für die eigentliche Wurfbewegung sind jedoch die Muskelgruppen der Arme spezifisch. Bei einem Dartwurf sind hingegen hauptsächlich die Armextensoren des Wurfarmes und der Strecker des Zeigefingers der Hand des Wurfarmes beteiligt. Die quantitativen Anforderungen an die relevanten Muskelgruppen der jeweiligen Wurfbewegungen lassen sich dann wie folgt charakterisieren: Bei einer Wurfbewegung, deren Bewegungsergebnis als dichotomes Leistungsmaß (Treffer – Nichttreffer) vorliegt, wird ein Treffer erzielt, wenn im Loslasspunkt ein trefferwirksames 6-Tupel vorliegt, d.h. es resultiert genau dann ein Treffer, wenn $t_i = W_{Treffer}$ gilt. Zwischen den einzelnen Parametern des 6-Tupels besteht dabei ein Optimaltrend. Bei einer Wurfbewegung, deren Bewegungsergebnis durch ein Distanzleistungsmaß beschrieben wird, wie dies beim virtuellen Dartwurf der Fall ist, folgen die Parameter des 6-Tupels ebenfalls einem Optimaltrend: das 6-Tupel ist so zu wählen, dass der Abstand zum Mittelpunkt minimiert wird. Die Anforderungen bestehen auf dynamischer Ebene in beiden beschriebenen Fällen dann darin, einen adäquaten Kraftstoß zu produzieren, der ein solches optimales 6-Tupel im Loslasspunkt generiert. Da es sich bei der beschriebenen Aufgabe um eine sogenannte Absolutaufgabe handelt, werden die Anforderungen an das zugrunde liegende Schnellkraftniveau absolut gleich sein. Vor dem Hintergrund einer interindividuell unterschiedlichen maximalen Ressourcenkapazität bedeutet dies, dass die Aufgabe aufgrund ihrer Anforderung diese Ressource interindividuell in unterschiedlicher Quantität beansprucht. Dies sei kurz exemplarisch erläutert: Während Person A mit einer hohen maximalen Ressourcenkapazität nur wenig von ihrer Ressource beanspruchen muss, um einen Treffer zu erzielen, muss Person B, die eine geringere maximale Ressourcenkapazität aufweist, ihre Ressource bereits zu einem hohen Maße beanspruchen. Person C hingegen, die eine ganz geringe maximale Ressourcenkapazität besitzt, kann selbst durch maximale Beanspruchung ihrer Ressource das Ziel nicht treffen. Nun wird eine konditionelle Belastung induziert, die

spezifische neuromuskuläre Beanspruchungen in den wurfspezifischen Muskelgruppen hervorruft und damit je nach Intensität und Dauer die Ressource in unterschiedlichem Maße, aber interindividuell relativ gleich, beansprucht, so dass die aktuelle Ressourcenkapazität reduziert ist. Dies könnte dazu führen, dass für Person A die aktuelle Ressourcenkapazität immer noch ausreicht, um die Aufgabe zu erfüllen, für Person B nun aber die aktuelle Ressourcenkapazität nicht mehr ausreicht, um die Aufgabe zu erfüllen. Für Person C ändert sich nichts: sie trifft nach wie vor nicht. Für das Experiment könnte dies praktisch bedeuten, dass infolge konditioneller Belastungen die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung interindividuell unterschiedlich genutzt werden. Während für Person A über eine Wurfserie eher mit einer verminderten Nutzung des Faktors „Rauschreduktion“ zu rechnen ist, sollte sich dies für Person B, zumindest im direkten Anschluss an die Belastung, in einer verminderten Nutzung des Faktors „Stabilität“ zeigen. Für Person C ist dann hinsichtlich der Faktoren-Beiträge keine Veränderung gegenüber dem unbelasteten Zustand festzustellen, da sie weder vor noch nach Belastung trifft. Für sie würden sich Belastungseffekte lediglich in spezifischen kinematischen Parametern zeigen (vgl. dazu Kapitel B1.2.3 – B1.2.5). So könnte sich für sie z.B. infolge der Beanspruchung zeigen, dass ihre mittlere Abwurfgeschwindigkeit bei größerem Abwurfwinkel reduziert ist, gleichzeitig auch noch die Streuungen in Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit erhöht sind. Dies würde sich in diesem Falle nicht im Bewegungsergebnis niederschlagen, sondern ausschließlich in der Bewegungsausführung.

Bezüglich des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus können wir festhalten, dass die Annahme eines optimalen Aktivierungsniveaus für maximale Ausführungsleistungen, wie dies von den „klassischen“ Aktivierungstheorien postuliert wird, unter einem ressourcentheoretischen Verständnis von Aktivierung nicht aufrecht erhalten werden muss (vgl. OLIVIER 1996a, 187)¹⁹. Deshalb wird dieser Ansatz auch nicht weiter verfolgt. Bezugnehmend auf die Klassifikation der Ressourcen von SCHÖNPFLUG (1991) versteht OLIVIER (1996a, 187) eine allgemeine zentralnervöse Aktivierung als „Erregungszunahme neuronaler Strukturen des ZNS, als Investition konsumptiver innerer Ressourcen“. Das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau wäre dann als „Niveau der Ausschöpfung der Kapazität struktureller Ressourcen anzusehen“ (ebd.). Für das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau als einem zentralnervösen Teilsystem ist für die Anforderungen der motorischen Aufgabe auf qualitativer Ebene somit festzuhalten, dass motorisches Lernen grundsätzlich als an zentralnervöse Informationsverarbeitungsprozesse gebunden verstanden wird (vgl. OLIVIER

¹⁹ Auch HACKER (1986) glaubt, bezugnehmend auf NÄÄTÄNEN (1973, zit. nach HACKER 1986, 221), dass eine negativ beschleunigte Funktion den Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung zutreffender beschreibt.

1996a, 187). Dies gilt ebenso für die aktuelle auf motorischen Kontrollprozessen basierende Bewegungsausführung. Teilt man die Auffassung, dass ein minimales AZAN vorliegen muss, damit motorische Kontroll- und Lernprozesse überhaupt stattfinden können, liefert die qualitative Ebene keine Variabilität und entfällt. Auf der quantitativen Ebene unterscheidet OLIVIER (1996a, 187) zwei Möglichkeiten:

- Es kann ein Maximaltrend vorliegen, d.h. je höher das AZAN, desto besser sind die Ausführungsleistungen.
- Es kann eine bestimmte Mindesthöhe des AZAN ausreichen, um maximale Ausführungsleistungen erzielen zu können.

Die Ausführungsleistung ist hier synonym mit dem Bewegungsergebnis zu verstehen. Ein belastungsbedingt verändertes AZAN müsste sich in den beschriebenen Fällen auch in einer ergebnisanalogen Veränderung ausführungsbezogener Parameter zeigen.

13 Der Einfluss konditioneller Belastungen auf trefferorientierte Wurfbewegungen

Das folgende Kapitel soll gemäß der analytischen Trennung im Drei-Faktoren-Modell Befunde darstellen, die die Effekte der durch konditionelle Belastungen hervorgerufenen neuromuskulären und zentralnervösen Beanspruchungen auf die Trefferleistung und die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung beschreiben. Da diese Untersuchungen jedoch insofern Mängel aufweisen, als dass einerseits die Wirkungen resultierender neuromuskulärer und zentralnervöser Beanspruchungen infolge konditioneller Belastungen nicht detailliert untersucht wurden, und andererseits Ausführungs- und Ergebnisgrößen nicht in Beziehung gesetzt wurden, wird mit der gebotenen Vorsicht der Versuch unternommen, diese Befunde bezogen auf die Fragestellung dieser Arbeit einzuordnen und zu interpretieren.

13.1 Die Effekte neuromuskulärer Beanspruchungen bei trefferorientierten Wurfbewegungen

Wie bereits in Kapitel A12 erläutert wurde, stellt genau dieser Themenbereich ein Forschungsdefizit dar. Zwar liegen einige wenige Untersuchungen vor, die den Einfluss neuromuskulärer Beanspruchungen auf die Trefferleistung nachweisen, jedoch können diese Effekte nicht eindeutig den Faktoren der Veränderung der Trefferleistung zugeordnet werden (eine Ausnahme bildet die Untersuchung von REISER/MÜLLER/WEILER/DAUGS 1999). Im Folgenden sollen zumindest solche Untersuchungen vorgestellt werden, die ganz allgemein den Einfluss konditioneller Belastungen und daraus resultierender neuromuskulärer Beanspruchungen auf die Trefferleistung untersucht haben.

SHOENFELT (1991) untersuchte – über einen Zeitraum von acht Wochen – die kurzfristige Wirkung sowohl eines kraftorientierten, als auch eines aerob ausgerichteten Trainingsprogramms auf anschließend zu absolvierende Freiwürfe im Basketball. Die Kraftübungen (Gesamtdauer ca. 50 Minuten) umfassten sowohl verschiedene Übungen für die oberen, als auch für die unteren Extremitäten, wobei die zu bewegende Last im Sinne des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts individuell fähigkeitsorientiert anhand des Einwiederholungs-Maximums festgelegt wurde. In den kraftorientierten Trainingsprogrammen waren entweder geringe Lasten (50% der Last des Einwiederholungs-Maximums) mit schnellen Wiederholungen zu bewältigen, oder aber hohe Lasten (80% der Last des Einwiederholungs-Maximums); dabei bestand letzteres Kraftprogramm aus drei verschiedenen Sätzen: einem

leichten Aufwärm-Satz mit zwölf bis fünfzehn Wiederholungen, einem mittleren Satz mit acht bis zwölf Wiederholungen und einem schweren Satz mit sechs bis zehn Wiederholungen. Das aerob ausgerichtete Trainingsprogramm dauerte ebenfalls 50 Minuten und bestand aus zehn Minuten Erwärmung mit Dehnung aller Muskelgruppen, 15 Minuten aeroben Belastungen wie z.B. auf der Stelle laufen, 15 Minuten Kräftigungsübungen (4 x 25 Push-ups, 100 bis 500 Sit-ups), die nicht die Oberkörpermuskulatur beanspruchten, und zehn Minuten Cool-down mit Dehnung der beanspruchten Muskelgruppen. Im Anschluss an das jeweilige Trainingsprogramm hatten die Probanden dann zwei Serien à zehn Freiwürfen zu absolvieren. Es konnten keine Unterschiede zwischen aerober und kraftorientierter Belastung auf die Trefferleistung festgestellt werden. Während das kraftorientierte Trainingsprogramm zu spezifischen neuromuskulären Beanspruchungen der wurfrelevanten Muskulatur führt, ist nicht sicher, ob das aerob ausgerichtete Trainingsprogramm möglicherweise zentralnervöse Beanspruchungen hervorruft. Aufgrund vorliegender Befunde (vgl. im Überblick Kapitel A8.1.2) sollte bei der hier angewandten Belastungsstruktur zumindest für das AZAN nicht mit einer Veränderung zu rechnen sein. Ein gravierender methodischer Nachteil dieser Untersuchung ist jedoch der fehlende Vergleich mit einer unbelasteten Kontrollgruppe. Außerdem werden keine Ausführungsgrößen angegeben, so dass ein Vergleich dieser mit den Ergebnisgrößen nicht möglich ist.

SAHRE (1991) untersuchte, wie sich vorhergehende Laufbandbelastungen, die zu verschiedenen neuromuskulären Beanspruchungen führen sollten (2 mmol/l, 4 mmol/l und 8 mmol/l Laktat), auf die Trefferleistung beim Freiwurf im Basketball auswirkt. Dabei sollten die Probanden entweder unter Rekordbedingungen (Maximierung von Schnelligkeit und Genauigkeit) werfen, um eine spieladäquate psychische Belastung zu induzieren, oder sie sollten ihre Würfe unter Qualitätsdruckbedingungen (75% Genauigkeit, 25% Schnelligkeit) absolvieren. Zusätzlich wurde die Disposition der Probanden zur Handlungs- oder Lageorientierung berücksichtigt. In einer dreifaktoriellen Varianzanalyse zeigen sich signifikante Haupteffekte für die Testinstruktion (Rekord- vs. Qualitätsdruckbedingung) und die Beanspruchung, wobei auch deren Interaktion signifikant wird. In der Rekordbedingung sinkt die Wurfleistung der Probanden mit zunehmender Beanspruchung, in der Qualitätsbedingung unterscheidet sich die Trefferleistung für die einzelnen Beanspruchungsstufen nicht. Die induzierten neuromuskulären Beanspruchungen, die über die induktive neuromuskuläre Beanspruchungsgröße „Laktatspiegel“ kontrolliert wurden, zielen in dieser Untersuchung hauptsächlich auf die Beinmuskulatur, die zwar in eine Basketballwurfbewegung involviert ist, jedoch nicht die für die Wurfbewegung spezifische Muskelgruppe darstellt. Ebenso bleibt unklar, inwiefern die

induzierten Belastungen zu zentralnervösen Effekten führen, so dass auch keine Aussage über deren Einfluss auf die Trefferleistung möglich ist. Auch in dieser Untersuchung werden wiederum keine Ausführungs- und Ergebnisgrößen in Beziehung gesetzt.

In der Untersuchung von HECKHAUSEN/STRANG (1988) sollte insgesamt viermal ein Basketballparcour über eine Dauer von fünf Minuten durchlaufen werden. Dieser bestand darin, den Ball aufzuheben, ihn um eine Wendemarke und anschließend über eine Strecke von 4,20 m tief zu dribbeln (unter 50cm Höhe), bevor wiederum nach einem normalen Dribbling ein Korbwurf erfolgen sollte. Im direkten Anschluss erfolgte der nächste Durchlauf. Die vier zu absolvierenden Durchgänge waren in zufälliger Reihenfolge entweder in einer Normal-Bedingung zu durchlaufen oder unter Rekord-Druck (möglichst viele Korberfolge). Es zeigten sich unter Rekord- gegenüber der Normal-Bedingung signifikant erhöhte Laktat- (8,7 vs. 6,1 mmol/l) und Herzfrequenzwerte (187 vs. 177 Schläge/min). Die Trefferrate (Treffer pro Wurfversuche) verringert sich unter Rekordbedingung von 56% auf 52%, wobei dieser Effekt lediglich marginal signifikant wird ($p < .08$). In dieser Untersuchung fehlen außerdem Informationen über Ausführungsgrößen, so dass diese nicht mit Ergebnisgrößen in Bezug gesetzt werden können. Bzgl. neuromuskulärer Beanspruchungen, die die erhöhten Laktatwerte aufzeigen, ist zu vermuten, dass diese sich über die Laufwege hauptsächlich in der Beinmuskulatur manifestieren, damit auch in dieser Studie nicht die wurfspezifische Muskulatur beansprucht wird. Inwiefern durch die experimentelle Anordnung eine Veränderung des AZAN erzielt wird, kann nicht gesagt werden. Aufgrund der Zeitdauer und der Belastungsstruktur könnte mit aller Vorsicht erwartet werden, dass sich solche Effekte frühestens im dritten Durchgang, und dann als Steigerung des AZAN, bemerkbar machen. Dies ist jedoch reine Spekulation.

FORESTIER/NOUGIER (1998) untersuchten die Wirkung einer Beanspruchung der Handgelenksbeuger mit 70% der MVC (maximale Willkürkontraktion), die in Serien à 40 sec bis zum Abbruch (als Abbruchkriterium galt, dass die erforderliche Kraft nicht mehr für mindestens 15 sec erbracht werden konnte) zu leisten war, auf die Koordination bei einer Wurfbewegung. Die geforderte Wurfbewegung war ein Wurf von oben auf eine von drei Zieldioden, die sich in einem Abstand von 2,5 m zum Werfer in Höhen von 1,1 m, 1,5 m und 1,9 m befanden. Nach dem Aufleuchten der jeweiligen Zieldiode sollten die Vpn gemäß Instruktion mit ihrer präferierten (optimalen) Geschwindigkeit einen Ball (Durchmesser: 18 cm, Gewicht: 250 g) auf dieses Ziel werfen. Zwischen den Würfen betrug die Pause 30 sec. Insgesamt waren pro Termin 90 Würfe (jeweils 30 in zufälliger Abfolge auf eines der drei Ziele) zu absolvieren. Zwei Termine (belastet und unbelastet) waren innerhalb von 24 Stunden durchzuführen. Drei Infrarot-

Dioden wurden am Ellbogengelenk, am Handgelenk und an der Hand angebracht, um den Verlauf bestimmter kinematischer Parameter unter beiden Bedingungen zu dokumentieren. In einer Voranalyse konnten sie eine signifikant verminderte Trefferleistung (operationalisiert über ein dichotomes Leistungsmaß: Treffer resp. Nicht-Treffer) infolge der Belastung feststellen (von 77% auf 57%). Da sie sich allerdings vordringlich für die Anpassung des neuromuskulären Systems unter Belastungseffekten interessierten, wurden nur die erfolgreichen Würfe zur weiteren Analyse herangezogen. Bezüglich der drei genannten Körperpunkte ermittelten sie die jeweilige Bewegungsdauer (t_{Bew}), definiert als das Zeitintervall zwischen Bewegungsbeginn und -ende im jeweiligen Gelenk, die Werte der maximalen Beschleunigung (a_{max}), der maximalen

Tabelle 8: Veränderung charakteristischer kinematischer Parameter unter Belastungswirkung gegenüber unbelasteter Bedingung in der Untersuchung von FORESTIER/NOUGIER (1998). Ein „+“ bedeutet eine Erhöhung des entsprechenden Parameters, ein „-“ dementsprechend eine Verminderung, eine „0“ zeigt an, dass keine Veränderung im entsprechenden Parameter festzustellen ist. Nähere Erläuterungen siehe Text.

	Ellbogengelenk	Handgelenk	Hand
t_{Bew}	+	+	0
a_{max}	0	0	0
v_{max}	0	0	0
a_{min}	0	0	0
$t_{a_{max}}$	+	+	0
$t_{v_{max}}$	+	+	0
$t_{a_{min}}$	+	+	0

Geschwindigkeit (v_{max}) und der maximalen Abbremsung (a_{min}), sowie deren Zeitpunkte ($t_{a_{max}}$, $t_{v_{max}}$, $t_{a_{min}}$). Zusätzlich wurde die Reaktionszeit, definiert vom Aufleuchten der Zieldiode bis zum Bewegungsbeginn im Ellbogengelenk, ermittelt. Diese steigt unter Belastungswirkung signifikant an. Die Veränderung der kinematischen Parameter in belastetem Zustand gegenüber der unbelasteten Bedingung zeigt Tabelle 8.

Zusammenfassend kann hierzu festgestellt werden, dass dem Wurfobjekt die gleiche

Abwurfgeschwindigkeit erteilt wird, jedoch die intersegmentale Organisation unter Belastungswirkung verändert ist. Interessanterweise fanden FORESTIER/NOUGIER (1998) in unbelastetem Zustand eine Verzögerung zwischen der maximalen Geschwindigkeit des Ellenbogengelenks und der Hand, die unter Belastungswirkung nicht festzustellen war. Bezüglich der Bewegungskoordination merken sie an, dass in der unbelasteten Bedingung die Abwurfgeschwindigkeit gemäß einem „summation of speed“-Prinzip resultiert (vgl. FORESTIER/NOUGIER 1998, 189), demzufolge die maximale Geschwindigkeit und die Zeit bis zur maximalen Geschwindigkeit im proximalen Gelenk geringer sind als im distalen. Dieses Prinzip zeigte sich jedoch unter der Belastungsbedingung nicht mehr. Vielmehr fiel, wie berichtet, die

maximale Geschwindigkeit der Hand mit der maximalen Geschwindigkeit des Ellenbogens zusammen, welche zeitlich vor der maximalen Geschwindigkeit des Handgelenks erzielt wurden. Als eine mögliche Erklärung führen FORESTIER/NOUGIER (1998) an, dass unter Ermüdung die Steifheit der Bewegung ansteigt. In diesem steifen System, dass um eine gegebene Achse (in diesem Fall das Ellenbogengelenk) rotiert, steigt die Geschwindigkeit ebenfalls vom proximalen zum distalen Teil des Systems an, allerdings wird die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit im jeweiligen Teil konstant gehalten. FORESTIER/NOUGIER (1998) stellen fest, dass eine Erhöhung der Steifheit eines Mehrgelenk-Systems möglicherweise die Bewegungsausführung und -kontrolle unter Ermüdung vereinfacht. Für unsere Fragestellung kann festgestellt werden, dass mit den Handgelenksbeugern eine für diese Wurf Aufgabe spezifische Muskulatur durch eine konditionelle Belastung neuromuskulär beansprucht wurde, eine Beeinflussung des AZAN durch die gewählte Belastung kann aufgrund vorliegender Befunde hingegen ausgeschlossen werden. Weiterhin ziehen die Autoren auch Ausführungsgrößen zur Bewegungsbeschreibung heran, jedoch leider ausschließlich für die Versuche, die auch trotz vorhergehender Belastung noch zu einem Treffer führen. Über welche Faktoren der Veränderung der Trefferleistung ein Beitrag zur Verringerung der Trefferleistung erzielt wird, kann damit auch für diese Untersuchung nicht festgestellt werden. Diese Arbeit gibt jedoch Hinweise darauf, dass über eine veränderte Bewegungsausführung negative Effekte neuromuskulärer Beanspruchungen in bestimmten Grenzen kompensiert werden können. Beobachtbare Variabilitäten in den Ausführungsgrößen betreffen in dieser Untersuchung daher eher den Anpassungsanteil der Variabilität.

FROMME/REER/WUNSCHIK/JEROSCH (1995) u.a. ließen Basketballspieler einen Feldstufentest in der Halle absolvieren, bei dem pro Stufe fünf mal zwei Freiwürfe zu absolvieren waren. Zwischen den Freiwürfen erfolgten kurze Läufe mit stufenweise ansteigender Geschwindigkeit bis zur Ausbelastung. Ermittelt wurden die Herzfrequenzen bei jedem Freiwurf und die Laktatwerte am Ende eines Durchgangs. Die Trefferquote aller Probanden lag bei 73,8 %, wobei mit zunehmender Belastung keine signifikante Veränderung festzustellen war (ebd., 98). Sie kommen zu dem Schluss, dass mittlere bis hohe Laktatkonzentrationen sich auf weitgehend automatisierte Bewegungsformen, wie bspw. den Basketballfreiwurf, nicht negativ auswirken. Man müsse jedoch berücksichtigen, dass die im Test erreichten Laktatspiegel noch deutlich über den im Spiel tatsächlich auftretenden Werten liegen. Sie folgern daher weiter, dass die Freiwurfleistung in der Wettkampfsituation eher von psychischen als von physischen Einflüssen abhängig zu sein scheint (ebd.). Aus meiner Sicht muss angemerkt werden, dass die induzierte Belastung mit der Beinmuskulatur keine für die Wurfbewegung spezifische Muskulatur

neuromuskulär beansprucht. Weiterhin könnte aufgrund vorliegender Befunde (vgl. Kapitel (A8.1.2) plausibel angenommen werden, dass über die gewählte Belastungsstruktur auch eine Steigerung des AZAN hervorgerufen wird. Eine analytische Trennung neuromuskulärer und zentralnervöser Effekte wäre daher nicht mehr gegeben. Schließlich wurden auch in dieser Untersuchung keine Ausführungsgrößen ermittelt, so dass ebenso wenig ein Zusammenhang zur Trefferleistung hergestellt werden kann.

In einer Untersuchung zur Wirkungsweise unterschiedlicher Trainingsformen beim Wurftraining im Basketball überprüften REISER/MÜLLER/WEILER/DAUGS (1999; vgl. auch MÜLLER/REISER/DAUGS 1999), wie sich eine Belastungsvariation auf die Trefferleistung im Basketball auswirkt. Hierbei untersuchten sie ebenfalls, welche Beiträge die einzelnen Faktoren der Veränderung der Trefferleistung erbringen. Dabei waren jeweils zehn Standwürfe von der Freiwurflinie zu absolvieren, wobei vor jedem Wurf ein Sprint zur Mittellinie um eine Markierung herum und wieder zurück zu absolvieren war. Diese Belastung führt zu einer neuromuskulären Beanspruchung der unteren Extremitäten, beansprucht damit keinesfalls die wurfspezifische Muskulatur. Zwar konnte infolge des Belastungstreatments keine Veränderung der Trefferleistung festgestellt werden, jedoch kam es zu einer Verschiebung der Beiträge der Faktoren der Trefferleistung. Eine signifikant verminderte Nutzung des Faktors „Rauschreduktion“ wurde durch eine statistisch bedeutsam verstärkte Aufgabendienliche Kovariation fast vollständig wieder ausgeglichen. An diesem Ausgleich war auch der Faktor „Stabilität des Abwurfbereiches“, wenn auch in geringerem Maße, signifikant beteiligt. Zwei Aspekte dieser Untersuchung müssen jedoch kritisch herausgestellt werden. Zum einen wurde lediglich eine Belastung induziert, die personabhängig zu ganz unterschiedlichen Beanspruchungen organischer Teilsysteme führt und auch, wie bereits erwähnt, nicht die für Würfe spezifischen Muskelgruppen beansprucht. Zum anderen wurde diese Belastung nach jedem Wurf induziert, was zwar in der Hinsicht als positiv zu werten ist, dass die Aufrechterhaltung der Belastungswirkung sichergestellt ist; dies hatte jedoch den Nachteil, dass die Vpn nicht immer exakt von der selben Stelle abwarfen. Alleine dadurch ist bereits eine erhöhte Streuung in den Ausführungsgrößen zu erwarten, die nicht nur dem Rauschen zugeschrieben werden kann. Bzgl. zentralnervöser Beanspruchungen ist zumindest für das AZAN davon auszugehen, dass die gewählte Belastungsstruktur aufgrund der Dauer nicht zu einer Veränderung führt. Die Arbeit von REISER/MÜLLER/WEILER/DAUGS (1999) ist die bisher einzig mir bekannte, die bei Wurfbewegungen infolge konditioneller Belastungen veränderte Ausführungs- und Ergebnisgrößen in Beziehung setzt. Diese Untersuchung zeigt, dass neuromuskuläre Beanspruchungen dazu geeignet sind, die Trefferleistung bei

Wurfbewegungen und die Nutzung der wurfrelevanten Faktoren zu beeinflussen. Eine vorsichtige Einordnung der vorgestellten Befunde deutet zumindest nicht auf eine Verbesserung der Trefferleistung infolge neuromuskulärer Beanspruchungen hin. Die einzige vorliegende Untersuchung, die eine wurfspezifische Muskelgruppe durch eine konditionelle Belastung neuromuskulär beanspruchte (FORESTIER/NOUGIER 1998), zeigt eine Verschlechterung der Trefferleistung. Die empirische Datenbasis in diesem Feld muss jedoch als äußerst defizitär eingestuft werden. Es bleibt die Frage bestehen, über welche Faktoren der Veränderung der Trefferleistung die gefundenen Effekte erreicht werden.

13.2 Die Effekte zentralnervöser Beanspruchungen bei trefferorientierten Wurfbewegungen

Zum Zusammenhang zentralnervöser Beanspruchungen und der Trefferleistung bei Wurfbewegungen finden sich noch weniger Untersuchungen. Ich möchte mich dabei auf jene Untersuchungen beschränken, die das allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau (operationalisiert über die Flimmerverschmelzungsfrequenz) zur Beschreibung zentralnervöser Beanspruchungen heranziehen.

HERTEL/WEBER (1989, zit. n. GÜNZ 1991, 175) fanden für die Trefferleistung bei Spezialfachstudenten im Handball und Nachwuchshandballspielern keinen Zusammenhang zur FVF. Ebenfalls in der Sportart Handball findet RUDOLPH (1991) in einem Extremgruppenvergleich (Sportler mit hoher vs. Sportler mit niedriger Steigerung des Aktivierungsniveaus nach Erwärmung) für einen Torwurftest (jeweils eine Trefferfläche in jeder Torecke, Maß: 70 x 50 cm) mit einfacher (freie Wahl der Trefffläche) und komplizierter Variante (Torwurf aus größere Distanz nach Signalgebung auf eine bestimmte Trefffläche) höhere prozentuale Trefferquoten bei beiden Varianten für Sportler mit hoher Aktivierung. Der von ihm postulierte deutliche Zusammenhang wird allerdings nicht mit korrelationsstatistischen Kennwerten belegt. Außerdem werden keine Ausführungsgrößen angegeben, so dass auch bei dieser Untersuchung nicht gesagt werden kann, welche Faktoren der Veränderung der Trefferleistung einen Beitrag zur Leistungssteigerung erbringen.

Da für trefferorientierte Wurfbewegungen kaum Untersuchungen vorliegen, sollen zumindest noch Befunde für trefferorientierte Bewegungen vorgestellt werden. Ein gegensätzlicher Befund bezüglich des Zusammenhangs zwischen FVF und Treffgenauigkeit findet sich bei WIEMEYER (1990), der lediglich für das Kollektiv der Amateurfußballspieler bei einem geforderten zielgenauen, flachen Innenseitstoss aus 14m auf eine präparierte Zielfläche eine signifikante

negative Korrelation ($R = -.2184$) zwischen dFVF und relativer Schussgenauigkeit findet (vgl. ebd., 107f.); für die Berufsfußballspieler zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang (vgl. auch WIEMEYER/JÄGER/FROMME/ZIPF 1991). Eine Analyse von FVF und Schussgenauigkeit in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt (vier 16-Minuten-Raster à vier Messungen) ergibt für das Kollektiv der Amateurfußballspieler den Befund, dass in Phasen hoher FVF die Treffgenauigkeit niedrig ist und umgekehrt (vgl. WIEMEYER 1990, 111f.). Auch in dieser Untersuchung werden leider keine Größen angegeben, die die Bewegungsausführung beschreiben, weshalb wiederum die Veränderung der Trefferleistung keinem Faktor zugeordnet werden kann. Für einen zielgenauen Vorhandschlag mit Vorwärtsdrall auf Zuspiel einer Ballmaschine fanden WIEMEYER/JÄGER/FROMME/ZIPF (1991) bei zehn männlichen Tennis-Kaderathleten keinen Zusammenhang zwischen AZAN und Treffgenauigkeit.

Es muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass gerade für den Zusammenhang von allgemeinem zentralnervösen Aktivierungsniveau (AZAN) und der Trefferleistung sehr wenige Befunde vorliegen; die wenigen sind zudem noch sehr widersprüchlich. Aussagen über den Zusammenhang von Ergebnis- und Ausführungsgrößen fehlen vollständig. Eine begründete Hypothesenableitung bzgl. der Effekte zentralnervöser Beanspruchungen, konkret eines erhöhten AZAN, auf die Trefferleistung und die Beiträge der Faktoren der Veränderung der Trefferleistung, kann aufgrund dieser Befundlage nicht erfolgen.

14 Zusammenfassung der theoretischen Analyse und Ableitung allgemeiner Forschungshypothesen

14.1 Zusammenfassende Darstellung der theoretischen Analyse

Bisher ist deutlich geworden, dass zur Frage der Variabilität im motorischen Verhalten zahlreiche Befunde vorliegen, die dieses Phänomen auf verschiedenen Analyseebenen beschreiben (vgl. Kapitel A2). Kapitel A3 diente dazu, zunächst die Bewegungsaufgabe als Kombination einer Klasse von Bewegungsergebnissen und Ausführungsbedingungen zu definieren (vgl. Kapitel A3.1), wobei die Klassenbreiten entsprechend der Interessen bzw. der theoretischen Position des Untersuchenden festzulegen sind. Innerhalb dieser Klassengrenzen können die jeweiligen Größen variieren, dennoch kann von Identität gesprochen werden. Damit ist eine sinnvolle Verwendung des Begriffs „Variabilität“ gegeben.

Anschließend erfolgte die Unterscheidung zweier Variabilitätsanteile (vgl. Kapitel A3.3): Anpassung, die zu beobachten ist, wenn sich Ausführungsbedingungen verändern, und Rauschen, das trotz unveränderter Ausführungsbedingungen vorhanden ist, und das auf nicht kontrollierbare Fluktuationen im motorischen System zurückgeführt wird. Da zum Anteil der Anpassung an der Variabilität bereits zahlreiche Befunde vorliegen, wurden speziell jene Arbeiten vorgestellt, die zeigen, dass Rauschen sowohl in zeitlichen, als auch in dynamischen und kinematischen Parametern vorhanden ist (vgl. Kapitel A3.3.2.1 – A3.3.2.3) und durch vorhergehende konditionelle Belastungen zumeist negativ beeinflusst wird. Dem Aspekt der Variabilität im Techniktraining und beim motorischen Lernen ist Kapitel A4 gewidmet. In Kapitel A5 wurden sowohl Positionen der Trainingslehre zur zeitlichen Platzierung von Konditions- und Techniktraining erläutert (vgl. Kapitel A5.1), die in der Mehrzahl das Techniktraining zu Beginn einer Trainingseinheit angesiedelt sehen, als auch Befunde zum Einfluss von Ermüdung auf die motorische Ausführungsleistung und die motorische Lernleistung vorgestellt (vgl. Kapitel A5.2). Letztere sind sehr uneinheitlich, weshalb unterschiedliche Schlüsse gezogen werden. Dies beruht zu einem großen Teil darauf, dass Ermüdung kein geeignetes Konstrukt ist, um die Forschungsfrage, nach Effekten konditioneller Belastungen auf die Ausführungs- und die Lernleistung, zu bearbeiten. Die Betonung darauf liegt in Kapitel A6.1.

Statt dessen dient das aus der Arbeitswissenschaft übernommene Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (vgl. Kapitel A6.2) als theoretisches Rahmenmodell, das eine detailliertere Analyse konditioneller Belastungen und daraus resultierender Beanspruchungen

ermöglicht. Auf diesem basiert auch das von OLIVIER (1996a) entwickelte Drei-Faktoren-Modell zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung (vgl. Kapitel A7), das diesen Einfluss über analytisch getrennte neuromuskuläre und zentralnervöse Beanspruchungen beschreibt. Kapitel A8.2.1 diente der Darstellung, dass konditionelle Belastungen an unterschiedlichen Stellen des neuromuskulären Systems zu Beanspruchungen führen können. Dass diese unter bestimmten Umständen die motorische Ausführungsleistung negativ beeinflussen, nicht jedoch die motorische Lernleistung, wurde in Kapitel A8.2.2 verdeutlicht. Gleiches erfolgte für die von uns herangezogene zentralnervöse Beanspruchungsgröße AZAN (vgl. Kapitel A8.1.2 resp. A8.1.3), die als Folge konditioneller Belastungen zumeist einen Anstieg zeigt. Ihr Zusammenhang mit der motorischen Ausführungs- resp. Lernleistung ist jedoch unsystematisch. Kapitel A9.1 beschrieb, dass trefferorientierte Wurfaufgaben die genannten Anforderungen – exakte Definition der Bewegungsaufgabe, Kontrolle der Ausführungsbedingungen, kurze Bewegungszeiten und Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Ausführungs- und Ergebnisgrößen – erfüllen, um die Frage nach Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz unter konditionellen Belastungseffekten zu untersuchen. Ein knapper Exkurs (Kapitel A9.2) behandelt die Biomechanik der Wurfbewegung und des Wurfs. Dieser Darstellung folgt die Erläuterung einer speziellen trefferorientierten Wurfbewegung, dem virtuellen Dartwurf (Kapitel A9.3), der die genannten Anforderungen (s.o.) erfüllt.

In Kapitel A10 wurden exemplarisch an dieser Kriteriumsaufgabe die drei Faktoren der Veränderung der Trefferleistung erläutert: die Stabilität des Abwurfbereichs (Kapitel A10.2.1), die Rauschreduktion (Kapitel A10.2.2) und die Aufgabendienliche Kovariation (Kapitel A10.2.3). Welcher Zusammenhang zwischen diesen Faktoren und der Ergebniskonstanz besteht, wie sich Übung auf die Nutzung dieser Faktoren auswirkt und ob die Nutzung dieser Faktoren lerntechnologisch beeinflussbar ist, wurde in den Kapiteln A11.1 bis A11.3 ausgeführt. Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die genannten drei Faktoren einen Zusammenhang zur Ergebniskonstanz aufweisen, Übung zu einer positiven Nutzung dieser Faktoren führt und sie – mit Ausnahme des Rauschens – lerntechnologisch positiv beeinflussbar sind.

In Kapitel A12 erfolgte schließlich eine Modifikation des Drei-Faktoren-Modells, das in der vorliegenden Form den Einfluss konditioneller Belastungen auf die Bewegungsausführung und das Bewegungsergebnis bei trefferorientierten Wurfbewegungen beschreibt. Demnach führen konditionelle Belastungen zu spezifischen Beanspruchungen, die sich je nach Anforderung der motorischen Aufgabe zunächst auf die Bewegungsausführung und darüber auf das

Bewegungsergebnis auswirken. Vorliegende Befunde zum Einfluss neuromuskulärer (vgl. Kapitel 13.1) und zentralnervöser Beanspruchungen (vgl. Kapitel 13.2) bei trefferorientierten Wurfbewegungen wurden abschließend vorgestellt. Die Untersuchungen bzgl. neuromuskulärer Effekte haben jedoch alle den Nachteil, dass Ausführungs- und Ergebnisgrößen nicht miteinander in Beziehung gesetzt wurden, und somit keine Aussage möglich ist, wie die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung infolge neuromuskulärer Beanspruchungen genutzt werden. Zudem wurde, mit Ausnahme einer Untersuchung, vorwiegend die Beinmuskulatur beansprucht, deren Relevanz aber für trefferorientierte Wurfaufgaben als eher gering anzusehen ist.

Für die Effekte zentralnervöser Beanspruchungen, konkret eines veränderten AZAN, ist die Befundlage bzgl. des Bewegungsergebnisses noch widersprüchlicher. Effekte auf die Bewegungsausführung werden nicht thematisiert, sodass auch in diesem Falle über die Nutzung der Faktoren der Veränderung der Trefferleistung infolge eines veränderten AZAN keine Aussage getroffen werden kann.

14.2 Experimentelles Vorgehen und Ableitung der Forschungshypothesen

Das experimentelle Vorgehen wird in zwei Schritten erfolgen: Zunächst soll untersucht werden, wie sich spezifische konditionelle Belastungen auf die Trefferleistung und die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung bei einer Wurfbewegung auswirken, die bereits hinreichend geübt wurde. Konkret soll auf der Seite zentralnervöser Effekte die Wirkung eines belastungsbedingt erhöhten AZAN und auf Seiten neuromuskulärer Effekte die Wirkung einer erschöpfenden muskelgruppenspezifischen Beanspruchung untersucht werden. Sollte letztere erwartungsgemäß die Trefferleistung reduzieren, kann die entsprechende Belastung dann im folgenden Experiment eingesetzt werden, das sich der Frage widmet, wie sich konditionelle Belastungen während der Aneignungsphase der Wurfbewegung auf die Aneignungs- und die Lernleistung auswirken.

Vorliegende Befunde zum Drei-Faktoren-Modell zeigen, dass erschöpfende muskelgruppenspezifische neuromuskuläre Beanspruchungen die Ausführungsleistung negativ beeinflussen (vgl. DILLINGER 1997; HARIG 1998; OLIVIER 1996a). Zudem zeigen auch zahlreiche Untersuchungen aus dem angloamerikanischen Forschungsraum zum Einfluss von Ermüdung auf die motorische Ausführungsleistung negative Effekte, wenn die aufgabenrelevante Muskelgruppe belastet wurde (vgl. ausführlich OLIVIER 1991).

Als erste allgemeine Forschungshypothesen wird daher formuliert:

Konditionelle Belastungen, die erschöpfende muskelgruppenspezifische neuromuskuläre Beanspruchungen bewirken, verringern die Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen.

Zwar wurde der Zusammenhang zwischen Aktivierung und motorischer Leistung resp. motorischem Lernen basierend auf der Untersuchung von YERKES/DODSON (1908) als umgekehrte-U-Funktion beschrieben (vgl. Kapitel A5.2.2); unter dem beschriebenen ressourcentheoretischen Verständnis von Aktivierung muss diese Annahme jedoch nicht aufrechterhalten werden (vgl. Kapitel A12). Ein durch konditionelle Belastungen erhöhtes AZAN wird sich laut OLIVIER (1996a, 194) dann auf die motorische Ausführungsleistung positiv auswirken, wenn

- a) unter den Bedingungen der motorischen Aufgabe die Beziehung zwischen motorischer Ausführungsleistung und dem AZAN einem Maximaltrend unterliegt oder
 - b) die Mindesthöhe des AZAN für maximale Ausführungsleistungen nicht erreicht wird und seine selbstregulatorische Anpassung hierfür nicht ausreicht.
- Andernfalls führt eine Erhöhung des AZAN weder zu einem positiven noch zu einem negativen Einfluss auf die Ausführungsleistung.

Da bzgl. diesen Zusammenhangs keine begründeten Erwartungen vorliegen, zugleich die vorliegenden Befunde äußerst uneinheitlich sind (vgl. Kapitel A8.1.3), lautet die zweite allgemeine Forschungshypothese wie folgt:

Konditionelle Belastungen, die die aufgabenspezifische Muskulatur nicht beanspruchen, führen zu keiner Veränderung der Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen.

Für das anschließend geplante Lernexperiment wird aufgrund empirischer Befunde zum Drei-Faktoren-Modell, die zeigen, dass eine verminderte Aneignungsleistung die Lernleistung nicht beeinflusst, und die damit die Unabhängigkeit des peripheren Geschehens vom prozessualen Geschehen nahe legen (vgl. DILLINGER 1997; OLIVIER 1996a), Folgendes erwartet:

Konditionelle Belastungen, die aufgrund erschöpfender muskelgruppenspezifischer neuromuskulärer Beanspruchungen während der Aneignungsphase einer trefferorientierten Wurfbewegung die Aneignungsleistung vermindern, beeinflussen die Lernleistung nicht.

Für die positive Wirkung eines belastungsbedingt erhöhten AZAN auf die Lernleistung gelten oben angeführte Annahmen zum Zusammenhang von motorischer Ausführungsleistung und AZAN analog auch für den Zusammenhang von motorischer Lernleistung und AZAN. Da aber auch hier keine begründeten Annahmen bzgl. dieses Zusammenhangs bestehen, wird die letzte allgemeine Forschungshypothese wie folgt formuliert:

Konditionelle Belastungen, die während der Aneignungsphase einer trefferorientierten Wurfbewegung die aufgabenspezifische Muskulatur nicht beanspruchen, beeinflussen weder die Aneignungs-, noch die Lernleistung.

B

Experimenteller Teil

Im folgenden experimentellen Teil soll zunächst allgemein dargestellt werden, wie die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung quantitativ bestimmt werden können (Kapitel B1.1). Im anschließenden Kapitel B1.2 werden spezielle Verfahren zur Datenbestimmung vorgestellt, die in beiden Experimenten Anwendung finden. In Kapitel B2 wird die inferenzstatistische Auswertung der Daten beschrieben. Es folgen schließlich die beiden Experimente zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen (Kapitel B3) und zum Einfluss konditioneller Belastungen auf die Aneignungs- und die Lernleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen (Kapitel B4).

1 Zu den angewandten Berechnungsverfahren

1.1 Zur quantitativen Bestimmung der Beiträge der Faktoren „Stabilität“, „Rauschreduktion“ und „Aufgabendienliche Kovariation“ an der Veränderung der Trefferleistung

Um den spezifischen Beitrag der drei wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung von einem Messzeitpunkt zu einem zweiten zu untersuchen, muss dieser quantitativ bestimmt werden. MÜLLER (1997a; vgl. auch MÜLLER 2000) hat hierfür ein mathematisches Verfahren entwickelt, das die Quantifizierung ermöglicht. Der Effekt eines einzelnen Faktors lässt sich demnach „extrahieren“, indem man diejenige Veränderung der Trefferleistung zwischen einem Vortest (z.B. vor einer Übungsphase oder in unbelastetem Zustand) und einem Nachtest (z.B. nach einer Übungsphase oder nach einem Belastungstreatment) bestimmt, die sich bei Konstanz der beiden anderen Faktoren ergeben würde. Da die Faktoren nicht unabhängig voneinander sind, ist die Reihenfolge der „Extraktion“ von besonderer Bedeutung. MÜLLER (1997a, 288) empfiehlt, genau die Faktoren, die am stärksten von der Veränderung der anderen abhängen, zuerst zu „extrahieren“. Er schlägt daher folgende Reihenfolge vor:

1. „Aufgabendienliche Kovariation“
2. „Rauschreduktion“
3. „Stabilität des Abwurfbereiches“

Im Folgenden wird das Verfahren nach MÜLLER (1997a) unabhängig von dem verwendeten Maß für die Trefferleistung (z.B. Trefferquote, Distanzmaß) beschrieben. Als zwingende Voraussetzung dieses Verfahrens nennt MÜLLER (1997a), dass

1. die rechnerische Beziehung f_j bekannt ist, mit der sich aus der Ausprägung der für die spezielle Wurf Aufgabe relevanten Ausführungsgrößen (a_h , $h = 1..k$) für jeden Ausführungsversuch i das Bewegungsergebnis in der Ergebnisdimension e_j , $j = 1..m$ bestimmen lässt $e_{j,i} = f_j(a_{1,i}, \dots, a_{k,i})$, wofür folgende Kurzdarstellung verwendet wird:

$$(e_{1,i}, \dots, e_{m,i}) = \bigwedge_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} (a_{h,i}) \text{ und}$$

2. auf dem Ergebnisraum ein Leistungsmaß (t) definiert wird, mit dem aus einer Serie von Ausführungsversuchen $i = 1..n$ ein Wert für die Trefferleistung in dieser Serie bestimmt

werden kann
$$L = \underset{i=1}{\overset{n}{t}} (e_{1,i}, \dots, e_{m,i}).$$

Aus den Ausführungsgrößen lässt sich die Trefferleistung dann berechnen als

Gleichung B 1.1
$$L = \underset{i=1}{\overset{n}{t}} \left(\underset{j=1, h=1}{\overset{j=m, h=k}{f_j}} (a_{h,i}) \right)$$

Die Veränderung der Trefferleistung (ΔL) von einem Vortest (L_V) zu einem Nachtest (L_N) setzt sich zusammen aus den jeweils spezifischen Beträgen der drei genannten Faktoren:

Gleichung B 1.2
$$\Delta L = L_N - L_V = \Delta^{Ko\ variation} + \Delta^{Rauschen} + \Delta^{Stabilität}$$

Da das zur Berechnung der Faktoren-Beiträge von MÜLLER entwickelte Kalkül wiederum ein Verfahren zur Bestimmung der Aufgabendienlichen Kovariation voraussetzt, soll dieses zunächst erläutert werden. Damit das von MÜLLER entwickelte Verfahren zur Bestimmung der Faktoren-Beiträge in allgemeiner Form für eine beliebige Anzahl von Ausführungsgrößen und für beliebige rechnerische Zusammenhänge formuliert werden kann, muss auch die Kovariationsberechnung für multiple nicht-lineare Beziehungen möglich sein. Ein solches Berechnungsverfahren, das Permutationsverfahren zur Bestimmung der Kovariation in multiplen nicht-linearen Zusammenhängen, lag bis dato nicht vor und wurde ebenfalls von MÜLLER entwickelt (vgl. MÜLLER 1999c; 2000).

1.1.1 Ein Permutationsverfahren zur Bestimmung der Kovariation in multiplen nicht-linearen Zusammenhängen nach MÜLLER

Für bivariate lineare Zusammenhänge liegt mit der Kovarianz (vgl. z.B. BORTZ 1999) ein Maß für die Kovariation zweier Messwertreihen ($a_i, b_i, i = 1..n$) vor, wobei die Kovarianz in dieser Grundform a) nur für den bivariaten Fall definiert ist und b) aufgrund des zugrunde liegenden Kalküls nur bei linearen Zusammenhängen eine valide Beschreibung des Zusammenhangs erwarten lässt.

Gleichung B 1.3
$$\text{cov}(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a}) * (b_i - \bar{b})}{n}$$

Das von MÜLLER entwickelte Permutationsverfahren (vgl. dazu ausführlicher MÜLLER 2000, 132ff.) stellt eine Verallgemeinerung der Kovarianzbestimmung dar. Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes betrachtet MÜLLER (ebd., 133) den Fall, dass sich ein Bewegungsergebnis (E) als Summe zweier Ausführungsgrößen a und b ($E = a + b$) ergibt. Die Varianzen dieser Parameter über eine Serie von Ausführungen werden als s_E^2 , s_a^2 bzw. s_b^2 bezeichnet. In dem von uns betrachteten Fall lässt sich die Varianz im Bewegungsergebnis als Summe der Varianzen der Ausführungsgrößen und der Kovarianz berechnen. MÜLLER bestimmt nun die Varianz im Bewegungsergebnis, die sich ergäbe, wenn die Kovariation Null s_{E0}^2 wäre, und gelangt zu folgendem Zusammenhang:

Gleichung B 1.4
$$\text{cov}(a, b) = \frac{1}{2}(s_E^2 - s_{E0}^2)$$

Diesen für die Kovariation gültigen Zusammenhang nutzt MÜLLER, um die Kovariationsberechnung zu verallgemeinern. Er versteht allgemein als Kovariation (COVA) die Hälfte der Differenz zwischen der empirisch festzustellenden Ergebnisvariabilität (EV_{Emp}) und derjenigen Ergebnisvariabilität (EV_{Erw}), die bei nicht vorhandener Kovariation zu erwarten wäre (vgl. MÜLLER 2000, 133). Diese nennt er „kovariationsbereinigte“ oder „erwartete Ergebnisvariabilität“.

Gleichung B 1.5
$$COVA = \frac{1}{2}(EV_{Emp} - EV_{Erw})$$

Während die empirische Ergebnisvariabilität unproblematisch bestimmt werden kann, stellt sich für die erwartete Ergebnisvariabilität die Frage nach deren Berechnung. MÜLLER (2000, 134) stellt dazu folgende Überlegung an: Kovariation ergibt sich aus der spezifischen Passung der ausführungsrelevanten Größen bei einer Bewegungsausführung. Soll beispielsweise ein Wasserspringer von einem bestimmten Punkt des Sprungbrettes abspringen und war der erste Schritt zu lang, dann muss er diesen durch einen entsprechend kürzeren zweiten Schritt ausgleichen. Diese Passung zwischen den Ausführungsgrößen sollte jedoch logischerweise nur innerhalb eines Wertepaares von erstem und zweitem Schritt aus einem bestimmten Durchgang bestehen. MÜLLER (2000) folgert nun, dass bei Aufhebung der Zuordnung auch die Kovariation verschwinden sollte. Dies erreicht man technisch dadurch, dass man Wertetupel anders kombiniert (z.B. der erste Schritt aus dem dritten Versuch mit dem zweiten Schritt aus dem achten Versuch).

Als Referenzwert schlägt er vor, die Menge aller möglichen Kombinationen von Werten der Ausführungsgrößen (die Produktmenge) zugrunde zu legen und daraus die Bewegungsergebnisse und deren Varianz zu berechnen. Die Ergebnisvarianz der Produktmenge sollte dann der kovariationsbereinigten Varianz entsprechen. In manchen Fällen wird die Produktmenge jedoch zu mächtig, so dass die erwartete Ergebnisvariabilität aus Teilmengen der gesamten Produktmenge geschätzt werden kann. Dies lässt sich derart realisieren, dass man, bezogen auf das Beispiel des Wasserspringens, die Abfolge aller zweiten Schritte zufallsgesteuert permutiert und den ersten Schritten neu zuordnet. Eine Berechnung der Gesamtlänge der beiden Schritte für die neuen Datenpaare führt zu einer Schätzung der Variabilität im Bewegungsergebnis bei nicht vorhandener Kovariation, die durch Permutation aufgelöst wurde (\hat{s}_{E0}^2). Nach Gleichung B 1.5 kann damit auch die Kovariation der Datenreihe schätzungsweise bestimmt werden (*COVA*). Diese von MÜLLER (2000) entwickelte Variante zur Schätzung der Kovariation bezeichnet er selbst als „*Permutationsverfahren*“. Es ist das zentrale Verfahren, das benötigt wird, um die Beiträge der Faktoren der Veränderung der Trefferleistung von einer Wurfserie zu einer weiteren zu berechnen. Zwingend erforderlich ist daher eine Beurteilung der Qualität der Schätzung, d.h. es muss geprüft werden, wie gut das Permutationsverfahren den Stichprobenwert der kovariationsbereinigten Ergebnisvariabilität schätzt. Diese Prüfung führt MÜLLER (2000) anhand von vier Kriterien durch (vgl. dazu BORTZ 1993, 93ff.):

- *Erwartungstreue*: Der Mittelwert der Gesamtmenge wird durch den Mittelwert von Teilmengen erwartungstreu geschätzt. Da bei nicht-linearen Zusammenhängen die Möglichkeit besteht, dass der Ergebnismittelwert einer Teilmenge aus vollständigen Permutationssätzen vom Ergebnismittelwert der Originalmenge abweicht, ist in diesem Fall eine Korrektur angezeigt. MÜLLER (2000, 138) empfiehlt eine große Zahl von Permutationen durchzuführen. Dann führen korrigierte und nicht-korrigierte Varianzschätzung zu nahezu identischen Ergebnissen. In der vorliegenden Arbeit wurde die korrigierte Varianzschätzung verwendet.
- *Konsistenz*: Eine mehrfache Durchführung des Permutationsverfahrens führt zu einer genaueren Schätzung. Bei Verwendung der von MÜLLER (2000) angegebenen Werte ergibt sich, im Vergleich von berechnungsbedingter Varianz zu experimenteller Varianz, ein Verhältnis von 1/5000, womit der Bestimmungsfehler als relativ gering anzusehen ist.

- *Effizienz*: Da das von MÜLLER (2000) entwickelte Verfahren das bisher einzige zur Bestimmung der kovariationsbereinigten Ergebnisvariabilität ist, kann eine vergleichende Effizienzbeurteilung verständlicherweise nicht vorgenommen werden.
- *Erschöpfungsgrad*: Das Permutationsverfahren schöpft alle vorhandenen Informationen aus.

Nachdem das Permutationsverfahren als zwingende mathematische Voraussetzung zur Bestimmung der Beiträge der Faktoren der Veränderung der Trefferleistung vorgestellt wurde, werden in den folgenden Kapiteln die Berechnungen der Beiträge für jeden Faktor dargestellt.

1.1.2 Der Beitrag des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“

Die Quantifizierung des Beitrages des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ ($L_N^{Ko\ var\ iation}$) erfolgt über den Vergleich der im Nachtest erreichten Trefferleistung ($L_N^{Ko\ var\ iation+Rauschen+Stabilität}$) mit der Trefferleistung, die sich ergibt, wenn man die Kovariation eliminiert und die beiden anderen Faktoren konstant hält ($L_N^{Rauschen+Stabilität}$):

Gleichung B 1.6
$$L_N^{Ko\ var\ iation} = L_N^{Ko\ var\ iation+Rauschen+Stabilität} - L_N^{Rauschen+Stabilität}.$$

Die Kovariation, die sich daraus ergibt, dass die Ausprägungen der Ausführungsgrößen bei einem Wurf aufeinander bezogen sind, kann man durch eine Aufhebung dieser Zuordnung eliminieren; dazu wählt man zufällig aus den in einer Serie von Würfeln ermittelten Messwerte der Ausführungsgröße $a_{q,i}$ einen Wert aus (z.B. Abfluggeschwindigkeit beim fünften Wurf), verfährt gleichsam mit einer weiteren Ausführungsgröße $a_{r,j}$, ($j \neq i$) (z.B. Abflugwinkel des zweiten Wurfs) und wiederholt diese zufälligen Ziehungen entsprechend für alle möglichen Ausführungsgrößen. Aus der sich ergebenden Menge von Ausführungsgrößen (z.B. $a_{5,2}, a_{3,8}, a_{7,6}, \dots, a_{k,l}$) kann das Bewegungsergebnis berechnet werden. Mit dem in Kapitel B1.1.1 beschriebenen Permutationsverfahren werden die innerhalb einer Serie aufgetretenen Werte der jeweiligen Ausführungsgröße ($\{a_{j,i} | i = 1..n\}$) durch Permutation der Indizes in eine zufällige Reihenfolge gebracht ($\{a_{j,p(i)} | i = 1..n\}$). Die erzeugten Wertemengen haben die gleichen Verteilungsparameter wie die empirischen, aber die Kovariation innerhalb der k-Tupel von Messwerten ist aufgehoben.

Der Beitrag des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ ergibt sich, wenn p_j eine Permutation der Zahlen 1..n ist, wie folgt:

$$\text{Gleichung B 1.7} \quad L_N^{Ko\ var\ iation} = t \left(\prod_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} f_j(a_{h,i}) \right) - t \left(\prod_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} f_j(a_{h, p_{i,h}(i)}) \right).$$

$L_N^{Ko\ var\ iation}$ ist der absolute Beitrag des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ zur Trefferleistung in der Nachtest-Serie. Der Anteil an der Leistungsveränderung berechnet sich als Differenz der Absolutbeträge aus Vor- und Nachtest:

$$\text{Gleichung B 1.8} \quad L^{Ko\ var\ iation} = L_N^{Ko\ var\ iation} - L_V^{Ko\ var\ iation}.$$

1.1.3 Der Beitrag des Faktors „Rauschreduktion“

Fügt man Gleichung B 1.2, Gleichung B 1.6 und Gleichung B 1.8 zusammen, so erhält man:

$$\text{Gleichung B 1.9} \quad L_N^{Rauschen+Stabilität} = \Delta^{Rauschen} + \Delta^{Stabilität} + L_V^{Rauschen+Stabilität}$$

Man kann sich das Vorgehen bei der Bestimmung von $\Delta^{Rauschen}$ veranschaulicht vorstellen als „Verschiebung“ der Abwurf-Wertemenge im Vortest in die „Lage“, die die Abwurf-Wertemenge im Nachtest hat. In dieser Lage stimmen die Mittelwerte aller Ausführungsgrößen überein. Bei nun gleicher Positionierung unterscheiden sich die beiden Wertemengen nur noch in ihrer Streuung, so dass die unterschiedlichen Trefferleistungen dem Faktor „Rauschen“ zugeschrieben werden müssen. Mathematisch wird wie folgt vorgegangen:

Seien $(a_{1,i}, \dots, a_{k,i})$ die Werte der Ausführungsgrößen im Nachtest, $(b_{1,i}, \dots, b_{k,i})$ die derer im Vortest. Per definitionem ergibt sich der Mittelwert \bar{a}_j der Ausprägung einer Ausführungsgröße a_j über eine Serie von Ausführungen $i = 1..n$ als

$$\text{Gleichung B 1.10} \quad \bar{a}_j = \sum_{i=1}^n \frac{a_{i,j}}{n}.$$

Das Analoge gilt für \bar{b}_j . Die „Verschiebung“ der Abwurf-Wertemenge ergibt sich dadurch, dass zu jedem Wert $b_{h,i}$ die Mittelwertsdifferenz zwischen Vor- und Nachtest der jeweiligen Ausführungsgröße addiert wird ($b'_{h,i} = b_{h,i} + \bar{a}_h - \bar{b}_h$):

Gleichung B 1.11

$$\Delta^{Rauschen} = t \left(\sum_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} (a_{h, p_{i, h}(i)}) \right) - t \left(\sum_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} (b_{h, p'_{i, h}(i)} + \bar{a}_h - \bar{b}_h) \right)$$

1.1.4 Der Beitrag des Faktors „Stabilität des Abwurfbereichs“

Wenn der Beitrag des Faktors „Rauschen“ ($\Delta^{Rauschen}$) bekannt ist, kann unmittelbar aus Gleichung B 1.9 die Veränderung des Faktors „Stabilität des Abwurfbereichs“ bestimmt werden ($\Delta^{Stabilität} = L_N^{Rauschen+Stabilität} - L_v^{Rauschen+Stabilität} - \Delta^{Rauschen}$). Es ergibt sich konkret:

Gleichung B 1.12

$$\Delta^{Stabilität} = t \left(\sum_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} (a_{h, p_{i, h}(i)}) \right) - t \left(\sum_{j=1, h=1}^{j=m, h=k} (b_{h, p'_{i, h}(i)}) \right) - \Delta^{Rauschen}$$

1.1.5 Anmerkungen zu dem Verfahren der Faktoren-Bestimmung

Mit diesem von MÜLLER (1997a) entwickelten mathematischen Verfahren ist es möglich, Veränderungen in der Trefferleistung zwischen zwei Messzeitpunkten als Summe der Beiträge der wurfrelevanten Faktoren quantitativ zu beschreiben. Für den Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ ist es zusätzlich möglich, den absoluten Anteil an der Trefferleistung zu ermitteln, was für die beiden anderen Faktoren nicht erfüllt werden kann (siehe dazu näher MÜLLER 1997a). MÜLLER (2000, 145) merkt weiter zu dem Verfahren an, zu bedenken, dass es dabei einen „Trade-Off“ zwischen der Genauigkeit, mit der die einzelnen Werte valide bestimmt werden können, und der zeitlichen Auflösung gibt: Je größer die Anzahl der zur Analyse zusammengefassten Bewegungsausführungen, desto genauer kann der wahre Wert der einzelnen Größen bestimmt werden; desto ungenauer ist aber gleichzeitig die zeitliche Auflösung. Zwar wurde bei der Auswertung der im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Daten der Schwerpunkt vorrangig auf die Genauigkeit der wahren Werte der einzelnen Größen gelegt, jedoch konnte über eine spezifische Zusammenfassung der Daten auch eine hohe relative zeitliche Genauigkeit der einzelnen Größen erreicht werden (eine bestimmte Anzahl von Wurfserien à 8 Würfeln wurden dann zu einem Wurfblock zusammengefasst). Wie diese spezifische Zusammenfassung konkret erfolgte, wird an geeigneter Stelle beschrieben. Ich werde im Folgenden die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung als *blockbezogene Parameter* bezeichnen, die zur detaillierteren Erläuterung der Ergebnisse durch spezielle zeitlich höher auflösende *serienbezogene Parameter* ergänzt werden. Die inhaltliche Bedeutung der serienbezogenen Parameter und ihre Berechnungsgrundlagen werden in den folgenden Unterkapiteln (Kapitel B1.2.2 bis B1.2.5) beschrieben.

1.2 Spezielle Verfahren der Datenverrechnung

Neben den beschriebenen allgemeineren Verfahren, kamen zur Auswertung der im Anschluss beschriebenen Experimente weitere spezifische Berechnungsverfahren zur Anwendung (vgl. dazu auch MÜLLER 2000, 146ff.). Diese beziehen sich auf die Verarbeitung der erhaltenen Rohdaten sowie auf die Ermittlung weiterer abhängiger Variablen. Einige dieser berechneten Größen wurden zwingend im Versuchsablauf benötigt.

1.2.1 Messdatenerfassung und Vorverarbeitung der Rohdaten

Für jeden einzelnen Wurf wurden Messwertpaare aus einem Spannungswert, der dem Winkel proportional ist, und dem zugehörigen Zeitwert erfasst. Dazu wurde ebenfalls der Zeitpunkt des Lösen des Fingerkontaktes (Loslasszeitpunkt) festgehalten. Die Erfassung dieser Größen erfolgte mit ca. 875 Hz (ein Messwert pro 1,14 ms) im ersten Experiment und mit ca. 750 Hz (ein Messwert pro 1,33 ms) im zweiten Experiment. Sowohl für die Erfassung der kinematischen Parameter, als auch für Bestimmung der zeitlichen Parameter, d.h. des Loslasszeitpunktes, ist die Messrate von ≥ 750 Hz ausreichend. Zur Bestimmung räumlicher Parameter wird eine Messfrequenz von 50 Hz als ausreichend erachtet. Die Messgenauigkeit des Systems bzgl. zeitlicher Parameter ist geringfügig besser, als die Fähigkeit des motorischen Systems, diese zeitlichen Parameter anzusteuern. Aufgrund empirischer Befunde (vgl. HORE/WATTS/MARTIN/MILLER; HORE/WATTS/TWEED/MILLER 1996; TIMMANN/WATTS/HORE 1999; MÜLLER 2000, 147) kann nämlich angenommen werden, dass Werfer den Loslasszeitpunkt mit einer Standardabweichung von weniger als 4 msec ansteuern. Die zeitliche Genauigkeit des Meßsystems kann vor dem Hintergrund dieser Befunde als gerade noch ausreichend angesehen werden. An dieser Stelle ist allerdings anzumerken, dass es keineswegs um die Bestimmung eines Absolutwertes der zeitlichen Genauigkeit der Versuchspersonen geht. Die dennoch verbleibende Ungenauigkeit des Meßsystems bei der Bestimmung des Loslasszeitpunktes muss als weitere Quelle für Variabilität betrachtet werden. MÜLLER (2000, 147) sieht diese als Teil des Bewegungssystems des Werfers. Seinen Erfahrungsberichten zufolge sei diese auch von den Versuchspersonen nicht als „von außen“ kommend zu erkennen. Teilt man die Akzeptanz dieser Einschränkungen, so bleibt für die geplanten Untersuchungen lediglich ein Aspekt zu beachten (vgl. MÜLLER 2000, 147): die Messsystembedingte Variabilität limitiert die erreichbare Reduktion des Rauschens. Dies wäre allerdings nur dann zu prüfen, wenn die Experimente zeigen sollten, dass der Faktor „Rauschreduktion“ innerhalb des intendierten Lernprozesses nicht genutzt werden kann. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie noch gezeigt werden wird.

Zur Bestimmung der Abwurfgeschwindigkeit wurde jeweils für 31 Winkelwerte aus einer Wurfbewegung (der Winkelwert im Loslasszeitpunkt, sowie 15 Winkelwerte vor und nach dem Loslasszeitpunkt) eine kubische Regression des Winkels über die Zeit berechnet. Als Abwurfgeschwindigkeit wurde die Steigung der resultierenden kubischen Funktion im Abwurfzeitpunkt herangezogen, als Abwurfwinkel der Wert der Funktion an dieser Stelle. Da die angewandte Art der Berechnung nicht nur bei der nachträglichen Auswertung der Daten, sondern auch bereits im Experiment selbst eingesetzt wurde, hatte dies zur Folge, dass das Flugobjekt erst eine kurze Zeit nach dem tatsächlichen Loslassen (< 15 msec) auf dem Bildschirm fliegend dargestellt wurde. Dies entzog sich jedoch der bewussten Wahrnehmung der Vpn und wurde daher auch nicht als störend empfunden.

1.2.2 Maß der Trefferleistung

Die Zielstellung bei der virtuellen Dartwurfaufgabe besteht darin, den Mittelpunkt der Dartscheibe „bull's eye“ möglichst präzise zu treffen. Die Bestimmung des vertikalen Treffpunktes T auf der Dartscheibe, ausgedrückt in einem Distanzmaß zum Mittelpunkt der Dartscheibe (in cm), erfolgte nach Gleichung A 9.9. Resultierte aus dieser Berechnung für einen einzelnen Wurf ein Abstand zum Mittelpunkt der Dartscheibe, der größer als 30 cm (Treffer oberhalb des Mittelpunktes) oder kleiner als - 30 cm (Treffer unterhalb des Mittelpunktes) war, so wurde der Abstand immer mit 35 cm bzw. - 35 cm, unabhängig vom wirklichen Abstand, festgelegt. Die absoluten Abstände der einzelnen Würfe einer Serie zum Mittelpunkt der Dartscheibe wurden mit dem Wert 2400 als Anpassungsfaktor multipliziert. Die Summe der auf diese Weise ermittelten Werte für die einzelnen Würfe wurde von 5000 subtrahiert. Dieser Wert, der sogenannte Score, wurde den Versuchspersonen im laufenden Experiment als Maß für ihre Trefferleistung im Anschluss an die jeweilige Serie zurückgemeldet. Resultierte aus der Berechnung des Score ein Wert kleiner als Null, wurde auf der Anzeige der Wert Null ausgegeben.

Im Nachhinein erfolgte die Neuberechnung des Scores mithilfe eines von MÜLLER in der Programmiersprache „Turbo-Pascal 7.0“ geschriebenen Auswerteprogramms. Würfe, die offensichtlich ungültig waren (z.B. Lösen des Kontaktes ohne registrierbare Bewegung des Metallarmes oder unbeabsichtigtes Lösen des Kontaktes während einer Rückwärtsbewegung des Metallarmes), wurden aus der weiteren Auswertung herausgenommen. Der letztlich in die weitere statistische Auswertung eingehende Score wurde schließlich berechnet, indem die mit dem Anpassungsfaktor multiplizierten und aufaddierten Einzelwürfe mit der Anzahl der Würfe

pro Serie, also acht, multipliziert und anschließend durch die Anzahl der tatsächlich zur Auswertung herangezogenen Würfe dividiert wurde.

1.2.3 Ermittlung von Streuungsparametern

Ausgehend von den berechneten Einzelwerten für Abwurfwinkel und Abwurfgeschwindigkeit (vgl. B1.2.1) wurde für jede einzelne Serie aus acht Würfeln die Streuung der Abwurfwinkel, im Folgenden als s_{α_0} bezeichnet, als deren Standardabweichung gemäß der Formel

Gleichung B 1.13

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{8}}$$

berechnet. Analog wurde bei der Bestimmung der Streuung der Abwurfgeschwindigkeiten (s_{v_0}) vorgegangen.

Weiterhin wurde die Streuung der Abwurfzeitpunkte berechnet (s_{t_0}). Dies ist aus zwei Gründen hilfreich (vgl. MÜLLER 2000, 149): (a) Es liegt ein weiterer Indikator vor, der die Unterschiedlichkeit der Bewegungsausführung beschreibt. (b) Das Zeitfenster, das durch die Streuung der Abwurfzeitpunkte definiert wird, ist mittelbar von Bedeutung, wenn die „Stabilität“ der Bewegung beurteilt werden soll. Eine besondere Stabilität ist, laut MÜLLER (2000, 149), nur für das Zeitfenster zu fordern, in dem die Abwurfzeitpunkte potentiell liegen können.

Da die geforderten Bewegungen (a) keinen festen Startzeitpunkt, (b) keinen in der absoluten Zeit identifizierbaren Endpunkt besitzen und (c) zusätzlich auch auf keinen in natürlicher Weise ausgezeichneten Referenzwinkel der Bewegung zurückgegriffen werden kann, müssen zur Bestimmung der Zeitdifferenzen zwischen den Abwurfzeitpunkten mehrerer Bewegungsausführungen die Bewegungen auf andere Weise als über den Abwurfzeitpunkt synchronisiert werden. MÜLLER (2000, 150) entwickelte hierzu ein Verfahren, welches den raum-zeitlichen Verlauf der Winkel-Zeit-Kurven zur Synchronisation heranzieht. Basierend auf Voruntersuchungen legte er fest, die über Regression ermittelten kubischen Funktionen (vgl. Kapitel B1.2.1) als Repräsentanten des relevanten Abschnitts der Wurfbewegungen einer Serie zu nutzen. Dieser Arbeit liegt das gleiche Vorgehen zugrunde. Die Funktionen wurden in einem iterativen Optimierungsverfahren derart zeitverschoben, dass der über das Maß „Root-Mean-Square“²⁰ (RMS) gemessene Abstand in einem bestimmten Zeitfenster (Loslasszeitpunkt ± 34

²⁰ siehe zu diesem Maß SCHMIDT (1988, 63f.).

msec) minimiert wurde. Der verbleibende Abstand wird unter der Bezeichnung „ $RMS_{W/t}$ “ in der weiteren Analyse mit berücksichtigt und dient als Indikator der Variabilität der Winkel/Zeit-Verläufe. Als Folge der Verschiebung der kubischen Winkel-Zeit-Funktionen zum Zwecke der Synchronisation resultiert dann eine relative Verschiebung der Abwurfzeitpunkte. Als Maß für deren Streuung (s_{-t_0}) wird die am Ende des beschriebenen Optimierungsverfahrens resultierende Standardabweichung der Abwurfzeitpunkte verwendet. MÜLLER (2000, 150) merkt an, dass die Größe des gewählten Zeitfensters (± 34 msec) ein willkürlich festgelegter Wert ist. Für eine sinnvolle datenbasierte Anwendung wäre ein sehr aufwendiges iteratives Verfahren notwendig; darauf konnte jedoch verzichtet werden, da sich die Größe des Zeitfensters in Voruntersuchungen von MÜLLER als brauchbar erwiesen hatte.

Die beschriebenen Parameter ($s_{-\alpha_0}$, s_{-v_0} , s_{-t_0} und $RMS_{W/t}$) dienen dazu, etwas über den Status des Rauschens der jeweiligen Ausführungsgrößen in der betrachteten Wurfserie auszusagen.

1.2.4 Die Ermittlung der mittleren Bewegungstrajektorie in einer Serie und abgeleitete Größen

Wie bereits ausführlich dargelegt, ist es dem motorischen System unmöglich, eine Bewegung mehrfach identisch zu reproduzieren. Dies bedeutet, dass auch die einzelnen Wurfbewegungen innerhalb einer Serie mit nicht kontrollierbaren Fluktuationen, also mit Rauschen, überlagert sind. MÜLLER (2000, 151) weist daher darauf hin, dass eine einzelne Wurfbewegung nur bedingt als Repräsentant der vom Werfer aktuell verwendeten Bewegungstechnik herangezogen werden kann. Im Sinne MÜLLERS (2000) wird aufgrund dieses Sachverhalts im Folgenden in diesem Zusammenhang der Begriff „Technik“ als die „im Mittel zu beobachtende kinematische Struktur der Bewegungen“ verstanden (vgl. ebd., 151). Zur Operationalisierung dieser mittleren kinematischen Struktur wird der Mittelwert der kubischen Funktionen (vgl. Kapitel B1.2.1) herangezogen. Als Resultat erhält man wiederum eine kubische Funktion. Den Vorteil dieser Mittelung sieht MÜLLER (2000, 151) darin, dass das Ergebnis weitgehend unabhängig von der Größe des Rauschens ist, somit alleine die prinzipielle Eignung der durchschnittlichen Aufgabenlösung beurteilt werden kann. Die Veränderung dieser Größe sollte hauptsächlich auf den Faktor „Stabilität“ zurückzuführen sein.

Basierend auf diesem mittleren Winkel-Zeit-Verlauf einer Wurfserie wird ein weiterer Indikator berechnet, der den serienbezogenen Status der Nutzung des Faktors „Stabilität“ abbildet. Dies ist das Ausmaß an Äquifinalität der Bewegungstrajektorie im relevanten Abschnitt der

Bewegungstrajektorie (vgl. REISER i.V.; siehe zu den äquifinalen Bewegungsbahnen auch den Exkurs in Kapitel A11.3.1, Seite 126). Als relevanter Abschnitt wurde das Zeitfenster „Mittlerer Abwurfzeitpunkt $\pm d$ “ angesehen (mit $d = 2 * s_{-t_0}$). In diesem Zeitfenster wurde der RMS-Abstand zwischen dem vollständig äquifinalen Bewegungsverlauf und dem mittleren Winkel/Zeit-Verlauf einer Wurfserie berechnet (RMS_{Aequi}). Die Details dieser Berechnung entsprechen dem Verfahren von REISER (i.V.) einschließlich der notwendigen Korrektur mit dem Faktor $d^{-1,5}$ (zur Begründung der Korrektur vgl. MÜLLER 1999a). Das Maß RMS_{Aequi} kann als Indikator der Ausführungsgenauigkeit herangezogen werden. Er bringt zum Ausdruck, ob der zu beobachtende Bewegungsverlauf einem als besonders „stabil“ erachteten Winkel-Zeit-Verlauf entspricht (vgl. MÜLLER 2000, 152). Zusätzlich sollte eine solche stabile Bewegungstechnik, die sich in einem geringen Wert des RMS_{Aequi} ausdrückt, die Nutzung Aufgabendienlicher Kovariation begünstigen, da das Konzept äquifinaler Bewegungsbahnen zur Erklärung Aufgabendienlicher Kovariation bei schnellen Bewegungen (vgl. Kapitel A11.3.1) dies plausibel erscheinen lässt.

1.2.5 Der Kopplungskoeffizient q

Wie oben bereits angemerkt, kann für den Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ der absolute Anteil an der Trefferleistung in einer Serie berechnet werden, und nicht nur sein Beitrag an der Veränderung der Trefferleistung von einer Serie zu einer nächsten. Mit dem Kopplungskoeffizienten q (vgl. MÜLLER/REISER 1999) liegt ein Parameter vor, der das Verhältnis von empirischer Ergebnisvariabilität (EV_{Emp}) zu kovariationsbereinigter Ergebnisvariabilität (EV_{Erw}) in einer Wurfserie ausdrückt. Er wird berechnet als:

Gleichung B 1.14
$$q = \frac{EV_{Emp}}{EV_{Erw}}.$$

Ist keine Aufgabendienliche Kovariation zwischen den Ausführungsgrößen bei den einzelnen Würfeln einer Wurfserie vorhanden, dann sollte sich die empirische Ergebnisvariabilität nicht von der erwarteten Ergebnisvariabilität unterscheiden. Der Kopplungskoeffizient wäre in diesem Fall gleich 1. Bei Vorhandensein einer entsprechenden Passung zwischen den Ausführungsgrößen wird sich die erwartete Ergebnisvariabilität gegenüber der empirischen Ergebnisvariabilität erhöhen, q nähme in diesem Fall Werte < 1 an. Je höher die Aufgabendienliche Kovariation, desto geringer sind die Werte des Kopplungskoeffizienten q.

2 Zur statistischen Auswertung der Daten

2.1 Zur angewandten Inferenzstatistik

Die statistischen Berechnungen und Hypothesenprüfungen erfolgen mit den angezeigten statistischen Verfahren, d.h. mit t-Tests für abhängige und unabhängige Stichproben sowie t-Tests zum Vergleich von Stichprobenmittelwerten mit Populationsmittelwerten („One-sample t-Test“) bzw. Varianzanalysen mit Messwiederholung(en). Im Bedarfsfall werden kovarianzanalytische Verfahren zur Stützung der Interpretation herangezogen.

Bei a priori formulierten Kontrasten innerhalb von Varianzanalysen wird das α -Niveau nicht adjustiert (vgl. BORTZ 1999, 262.). A posteriori werden im Bedarfsfall Zusatzauswertungen (Einzelvergleiche, SCHEFFÉ-Tests) vorgenommen, wobei das α -Niveau auf die „family wise error rate“ (ebd., 261) adjustiert wird. Diese Korrektur erfolgt nach BONFERONI mittels der Gleichung $\alpha' = \alpha/m$ (mit m = Anzahl der simultanen Tests) und wird auch bei nicht unabhängigen Tests angewandt; dabei steigt das Risiko eines α -Fehlers nicht, da mit wachsender Abhängigkeit der Tests die α -Fehler-Korrektur konservativer ausfällt (vgl. ebd.).

Die kritische Irrtumswahrscheinlichkeit wird für die Überprüfung der Unterschieds- bzw. Veränderungshypothesen auf $\alpha = 5\%$ festgelegt, für die Prüfung der Nicht-Unterschieds- bzw. Nicht-Veränderungshypothesen – hierzu zählen auch die Voraussetzungsprüfungen – auf $\alpha = 10\%$, um damit indirekt die Wahrscheinlichkeit eines β -Fehlers zu verringern (vgl. BORTZ 1999, 122). Auch für die rein deskriptive Beschreibung bestimmter Veränderungen bzw. Unterschiede, die nicht der Hypothesenprüfung dienen, werden die Wahrscheinlichkeits-Werte angegeben. Dies erfolgt generell durch Angabe der entsprechenden Werte, gefolgt von den üblichen Symbolen (*: $p < .05$; **: $p < .01$, ***: $p < .001$).

Varianzanalytische Verfahren setzen neben intervallskalierten Daten voraus, dass sich deren Differenzen in der Grundgesamtheit normalverteilen (vgl. BORTZ 1999., 273ff.). Die Prüfung der einzelnen Datensätze auf Normalverteilung erfolgt nach dem KOLMOGOROV-SMIRNOV-Anpassungstest mit LILLIEFORS-Modifikation (vgl. BORTZ/LIENERT/BOEHNE 1990, 321ff.; LILLIEFORS 1967)²¹. Im Falle, dass dieses Testverfahren eine Abweichung von der Normalität anzeigt, wird diese spezifiziert. Bei varianzanalytischen Verfahren kann die Abweichung

²¹ Zu den Ergebnissen und entsprechenden Entscheidungen bei der Verletzung dieser Voraussetzung wird, wenn erforderlich, an entsprechender Stelle Bezug genommen.

vernachlässigt werden, wenn die Populationsverteilung schief ist. Allerdings ist der Exzess zu beachten. Bei extrem schmalgipfligen Verteilungen neigt der F-Test zu konservativen Entscheidungen, bei breitgipfligen ist das tatsächliche α -Risiko etwas höher als das nominelle (BORTZ 1999, 276). Für Nicht-Unterschieds- bzw. Nicht-Veränderungshypothesen bedeutet dies, dass, aufgrund der Gegenläufigkeit von α - und β -Fehler-Wahrscheinlichkeit bei extrem schmalgipfligen Verteilungen, der F-Test zu progressiven Entscheidungen neigt, bei breitgipfligen aber zu konservativen Entscheidungen. D.h. bei Abweichungen von der Normalität erscheint es gerechtfertigt, aufgrund der höheren Teststärke gegenüber parameterfreien Tests (vgl. BORTZ 1999, 125; BORTZ/LIENERT/BOEHNEKE 1990, 41), parametrische Verfahren zu rechnen, wenn aufgrund der Größe des Exzesses das Verfahren bezogen auf die zugrunde liegende Hypothese konservativ entscheidet. Dies wird standardmäßig überprüft, in der Ergebnisdarstellung allerdings nur dann Bezug hierauf genommen, wenn aufgrund der Abweichung von der Normalität und eines Exzesses, der auf progressive Entscheidungen des F-Tests hinweist, ein parameterfreies Verfahren angezeigt ist. BORTZ selbst empfiehlt jedoch erst bei kleinen ($n < 10$) und ungleich großen Stichproben, die im Verdacht stehen, dass eine oder mehrere Voraussetzungen verletzt sind, ein verteilungsfreies Verfahren, da die Varianzanalyse bei gleichgroßen Stichproben relativ robust ist (vgl. BORTZ 1999, 276). Weitere Voraussetzungen sind die Homogenität der Fehlervarianzen und die Unabhängigkeit der Fehlerkomponenten (vgl. BORTZ 1999, 273ff.) bzw. bei Messwiederholungsanalysen die Homogenität der Varianzen unter den einzelnen Faktorstufen und der Korrelationen zwischen den Faktorstufen. Da diese Voraussetzung bei Messwiederholungsanalysen, insbesondere bei Lernexperimenten, verletzt ist (vgl. FEHRES/MARSCHALL 1990, 69), entgeht man mit einer Korrektur der Freiheitsgrade nach GREENHOUSE-GEISSER der Gefahr einer progressiven Entscheidung. Die F-Tests werden generell mit GREENHOUSE-GEISSER ε (Epsilon) korrigiert, wenn $\varepsilon < 0,75$. Im Falle von Varianzanalysen ohne Messwiederholung wird zur Überprüfung dieser Voraussetzung der Varianzhomogenitätstest von LEVENE eingesetzt (vgl. BORTZ 1999, 275). Dieser ist gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme relativ unempfindlich. Aus diesem Grunde wird er dem BARTLETT-Test vorgezogen, der sensibler auf Verletzungen der Voraussetzungen reagiert, als der eigentliche F-Test (vgl. ebd.).

Die Voraussetzungen zur Anwendung eines unabhängigen t-Tests – dies sind die Normalverteilung, die Varianzhomogenität und die Unabhängigkeit der Stichproben – werden mit den bereits oben erwähnten Verfahren (dem KOLMOGOROV-SMIRNOV-Anpassungstest mit LILLIEFORS-Modifikation und dem LEVNE-Test) geprüft. Ein nach LEVENE korrigierter p-Wert wird mit einem ^L kenntlich gemacht. Die Unabhängigkeit der Stichproben ist gewahrt, wenn es sich

nicht um parallelisierte Stichproben oder um mehrfache Messungen auf einer Stichprobe handelt. Der unabhängige t-Test reagiert allerdings robust auf Verletzungen seiner Voraussetzungen. Die Voraussetzung des t-Tests für abhängige Stichproben – die Normalverteilung der Differenzen in der Grundgesamtheit – gilt als erfüllt, wenn sich die Differenzen in der Stichprobe normalverteilen (vgl. BORTZ 1999, 142). Sie wird mit dem erwähnten Verfahren überprüft. Auch der abhängige t-Test reagiert relativ robust auf Verletzungen der Voraussetzungen, wobei hier anzumerken ist, dass bei einer negativen Korrelation der beiden Messwertreihen dieser t-Test an Teststärke verliert (vgl. ebd.).

Bei signifikanten Interaktionseffekten im Rahmen von Varianzanalysen wird a posteriori eine Klassifikation der jeweiligen Interaktion vorgenommen (vgl. dazu BORTZ 1999, 289ff.), um gegebenenfalls die Interpretation der entsprechenden Haupteffekte daran relativieren zu können.

Zusätzlich wird zu jedem statistisch bedeutsamen Unterschied bzw. zu jeder statistisch bedeutsamen Veränderung eine ex-post-Bestimmung der Effektgröße f durchgeführt²², auf die laut BORTZ/DÖRING (1995, 568) niemals verzichtet werden sollte. Hierauf wird im nächsten Abschnitt detaillierter eingegangen.

2.2 Zur Bestimmung der Effektgröße

Die Effektgröße kennzeichnet einen Mindest-Unterschied, der vorhanden sein muss, um von einem praktisch bedeutsamen Unterschied zu sprechen. BAKAN (1966) stellte bereits die Frage danach, „how much of a difference makes a difference for what?“ (zit. nach OSTMANN/WUTKE 1994, 732). Es wird daher die Forderung erhoben, „bei der Prüfung von Hypothesen [...] sowohl die wissenschaftliche Signifikanz in Form von Effektgrößen wie die statistische Signifikanz in Form von Wahrscheinlichkeitsaussagen zu berücksichtigen“ (WESTERMANN/HAGER 1984), da statistische Signifikanz, wie BORTZ/DÖRING (1995, 565) exemplarisch veranschaulichen, „kein Beleg für praktische Bedeutsamkeit sein“ muss (ebd.). In der Literatur finden sich für die Effektgröße Synonyme wie „praktische Signifikanz“, „erklärte Varianz“, „praktische Bedeutsamkeit“ und „wissenschaftliche Signifikanz“. Die Information der Effektgröße kann genutzt werden, um

²² Häufiger wird in der einschlägigen Literatur das Symbol ε für die Effektgröße verwendet (vgl. z.B. BORTZ 1993; 1997). Ich verwende allerdings – wie BORTZ/DÖRING (1995) – f zur Symbolisierung der Effektgröße, um nicht Gefahr zu laufen, diese mit dem von uns ebenfalls verwendeten Korrektur-Faktor ε nach GREENHOUSE-GEISSER zu verwechseln.

- a) a priori für eine geplante Untersuchung den optimalen Stichprobenumfang zu bestimmen (vgl. BORTZ 1999). Hier wird eine spezifische Hypothese formuliert, die aussagt, wie groß ein bestimmter Mittelwertsunterschied unter praktischen Gesichtspunkten sein muss. Bei festgelegtem α - und β -Fehlerniveau kann man dann einen optimalen Stichprobenumfang berechnen, der eine eindeutige Entscheidung zugunsten der H_0 bzw. der H_1 zulässt.
- b) a posteriori bei Untersuchungen ohne fixierten H_1 -Parameter die praktische Bedeutsamkeit zu bestimmen.

In unserem Falle handelt es sich nicht um eine Stichprobenfestlegung, sondern um eine „ex-post-facto“ Bewertung der Ergebnisse.

Man unterteilt die Größe der Effekte üblicherweise in drei Kategorien (vgl. BORTZ 1999): schwache, mittlere und starke Effekte. Die jeweiligen Kategoriengrenzen für die verwandten Testverfahren zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Kategoriengrenzen der Effektstärken für t-Tests und Varianzanalysen (nach BORTZ 1999).

	Schwacher Effekt	Mittlerer Effekt	Starker Effekt
t-Tests	0,20 – 0,49	0,50 – 0,79	ab 0,80
Varianzanalyse	0,10 – 0,24	0,25 – 0,39	ab 0,40

Die ex-post bestimmte Effektgröße wird sowohl bei der jeweiligen Hypothesenprüfung

als auch bei den nicht-hypothesenbezogenen Unterschieds- und Veränderungsprüfungen mit angegeben.

Die Berechnung der Effektgrößen erfolgt in Anlehnung an BORTZ (1999, 136ff.), bei dem der interessierte Leser die entsprechenden Berechnungsvorschriften für abhängigen, unabhängigen und one-sample t-Test en detail findet^{23 24}. Bei den varianzanalytischen Verfahren ist es notwendig, die Effektgröße f aus η^2 (eta Quadrat) zu berechnen (vgl. BORTZ 1999, 249). Bei mehrfaktoriellen Plänen ist hingegen ein partielles η_p^2 zu verwenden. Auch die

²³ Statt ϵ (wie bei BORTZ 1999) wird zur Bezeichnung der Effektgröße f (wie bei BORTZ/DÖRING 1995) herangezogen, um eine Verwechslung mit dem Korrektur-Faktor ϵ von GREENHOUSE-GEISSER zu vermeiden.

²⁴ Für weniger erfahrene Anwender des Statistik-Paketes SPSS 10.0 ist es an dieser Stelle hilfreich, darauf hinzuweisen, dass die Effektgrößen für die t-Tests nicht automatisch von der Software berechnet werden. Hier muss die Berechnung per „Handarbeit“ durchgeführt werden. Bei varianzanalytischen Verfahren kann die Option „Estimates of Effect Size“ aktiviert werden. Dabei wird jedoch η^2 bzw. η_p^2 ausgegeben. Dieses ist dann über die entsprechende Formel in die Effektgröße f umzurechnen.

Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der Effektgröße von Interaktionseffekten erster und höherer Ordnung findet man bei BORTZ (1999).

3 Hauptexperiment 1:

Effekte konditioneller Belastungen auf die Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen

In dieser experimentellen Untersuchung sollen einige der in Kapitel A14.2 formulierten allgemeinen Forschungshypothesen einer Prüfung unterzogen werden. Die Zielstellung des ersten Hauptexperimentes besteht darin, zu überprüfen, wie sich zentralnervöse und neuromuskuläre Beanspruchungen auf die Trefferleistung und die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung bei Zielwurfbewegungen auswirken. Konkret soll die Wirkung eines belastungsbedingt erhöhten AZAN und muskelgruppenspezifischer neuromuskulärer Beanspruchungen, die durch eine erschöpfende Belastung herbeigeführt werden sollen, untersucht werden. Speziell auf der Ebene der neuromuskulären Beanspruchungen besteht eine weitere Zielstellung darin, eine entsprechende Belastung zu identifizieren, die zu einer Reduktion der Ausführungsleistung führt, um diese dann im weitergehenden zweiten Hauptexperiment, das auch auf die Frage abstellt, ob eine belastungsbedingt verminderte Aneignungsleistung auch die Lernleistung beeinflusst, gezielt induzieren zu können. Sekundär soll in diesem Experiment auch die Wirkung der belastungsbedingt hervorgerufenen Beanspruchungen auf spezielle serienbezogene Parameter der Bewegungsausführung beschrieben werden.

3.1 Methode

3.1.1 Die motorische Aufgabe

Die motorische Aufgabe bestand für die Vpn in der Realisierung eines "Virtuellen Dartwurfes" im Labor. Die Bewegungsaufgabe wurde in Kapitel A9.3 bereits ausführlich beschrieben. Die Steuerung erfolgt über eine von MÜLLER in der Programmiersprache „Turbo-Pascal 7.0“ geschriebene Software. Physikalische Parameter des Programms sind so gewählt, dass die virtuell dargebotene Dartscheibe einem „realen“ horizontalen Abstand zur Vp von 2 Metern entspricht. Die reale Dartscheibe hat einen Durchmesser von 60 cm. Um das bull's eye (Durchmesser: 6,32 cm) sind neun konzentrische Kreise mit ansteigendem Radius von 3,16 cm angeordnet. Die Vpn wurden angewiesen, den Mittelpunkt der Dartscheibe mit jedem Wurf möglichst exakt zu treffen. Nach jedem Wurf wurde der Vpn der Treffpunkt auf der Dartscheibe angezeigt. Nach einer Wurfserie von acht Würfen (Anzahl der Würfe pro Serie im Programm

spezifizierbar) bekommt die Vp ihren Score (vgl. Kapitel B1.2.2) rückgemeldet, der ihr etwas über ihre Trefferleistung aussagt, die über die mittlere Abweichung ihrer acht Würfe vom Mittelpunkt der Dartscheibe operationalisiert wird. Ebenso werden der Vp nach einer Serie die Trajektorien der Wurfbahnen der einzelnen Würfe angezeigt.

Diese Bewegungsaufgabe erfüllt die von MÜLLER (2000, 70) genannten Anforderungen A1 bis A4 (vgl. Kapitel A9.3). Eine genauere Diskussion erfordert die Anforderung A2, welche die Konstanzhaltung der Ausführungsbedingungen betrifft, um den Anpassungsanteil der Variabilität möglichst gering zu halten. Unsere Fragestellung zielt gerade darauf ab, neuromuskuläre und zentralnervöse Beanspruchungseffekte zu induzieren, d.h. personinterne Ausführungsbedingungen werden gegenüber dem unbelasteten Zustand verändert. Da jedoch die externen Ausführungsbedingungen durch die Konstruktion der virtuellen Dartwurf Aufgabe, die die nutzbaren Freiheitsgrade stark einschränkt, es nicht zulassen, dass beispielsweise andere Muskelgruppen zur Lösung der Bewegungsaufgabe im Sinne einer motorischen Äquivalenz (vgl. Kapitel A3.3.1) herangezogen werden, ist auch die unter konditioneller Belastungswirkung festzustellende Variabilität bei dieser Bewegungsaufgabe in starkem Maße als Rauschen zu klassifizieren.

3.1.2 Die abhängigen Variablen und ihre Operationalisierung

Die abhängigen Variablen in dieser Untersuchung sind:

a) Die Veränderung der Trefferleistung d_{Leistung} [cm]:

Diese wird operationalisiert über die Differenz der Trefferleistungen zwischen dem Wurfblock „Ausgangsniveau“ (WB_{AN}) und folgenden Wurfserienblöcken (siehe dazu Kapitel B3.1.6) bzw. dem Wurfblock „Erholung“ (WB_{EH}). Diese wird daher auch als relative Trefferleistung bezeichnet. Negative Differenzen zeigen hierbei eine Leistungsverbesserung an. Als Leistungsmaß eines einzelnen Wurfes wird die absolute Abweichung vom Mittelpunkt der Dartscheibe [cm] verwendet. Die Trefferleistung L in einem Wurfblock wird dann berechnet als Mittelwert der absoluten Abweichungen. In den zugehörigen Abbildungen wird die Veränderung der Trefferleistung in Kurzform mit dL bezeichnet.

b) Die Beiträge der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung [cm]:

Die Beiträge der einzelnen Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung zwischen zwei Wurfblöcken bzw. zwei Wurfserienblöcken werden mit dem Berechnungsverfahren von MÜLLER (1997a; 2000; vgl. auch Kapitel B1.1) ermittelt. Es sind d_{Kova} (Beitrag des Faktors Aufgabendienliche Kovariation an der Veränderung der Trefferleistung); analog

d_{Stabi} (Beitrag des Faktors Stabilität) und d_{Rauschen} (Beitrag des Faktors Rauschreduktion²⁵). Auch hier zeigen negative Differenzwerte eine höhere Nutzung des entsprechenden Faktors an.

Die Veränderung der Trefferleistung zwischen zwei Messzeitpunkten ergibt sich somit vollständig additiv aus der Summe der Beiträge der einzelnen Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung zwischen diesen zwei Messzeitpunkten, es gilt also: $d_{\text{Leistung}} = d_{\text{Kova}} + d_{\text{Stabi}} + d_{\text{Rauschen}}$. In den Abbildungen finden sich für die Faktoren die Kurzbezeichnungen dK, dS und dR.

c) Die Veränderung der Flimmerverschmelzungsfrequenz dFVF [Hz]:

Diese dient als Indikator des AZAN. Die dFVF wird berechnet als Differenz zwischen der FVF zu einem bestimmten Messzeitpunkt und der FVF-Baseline ($FVF_{\text{Messzeitpunkt}} - FVF_{\text{Baseline}}$).

Die abhängige Variable FVF stellt eine methodisch abhängige Variable dar, d.h. es soll geprüft werden, dass a) die konditionelle Belastung, die zur einer AZAN-Erhöhung führen soll, diesen Effekt auch tatsächlich bewirkt; weiter soll überprüft werden, ob b) die zu neuromuskulären Beanspruchungen führenden Belastungen (auch in ihrer zeitlichen Abfolge) nicht auch zu zentralnervösen Beanspruchungen führen (um die analytische Trennung der Beanspruchungseffekte aufrechterhalten zu können). Schließlich sollen c) mögliche Aktivierungseffekte durch eine Feedforward-Regelung des AZAN (im Sinne einer Zweckursache) im Hinblick auf die motorische Aufgabe oder eine zu absolvierende Belastung überprüft werden.

d) Serienbezogene kinematische Parameter werden ebenfalls herangezogen, um die Befunde hinsichtlich der Veränderung der Trefferleistung detaillierter beschreiben zu können. Diese besitzen auch gegenüber der Veränderung der Trefferleistung und den Beiträgen der einzelnen Faktoren eine höhere zeitliche Auflösung und drücken den Status spezieller Ausführungsgrößen innerhalb einer Wurfserie aus. Während die blockbezogenen Parameter Aussagen über Ausführungsparameter, ausgedrückt im Leistungsmaß, zulassen, beschreiben die serienbezogenen Parametern den jeweiligen Aspekt der Bewegungsausführung direkt in der zugrunde liegenden Einheit (z.B. Abwurfwinkel in °). Angemerkt sei an dieser Stelle noch, dass MÜLLER (2000) aufgrund von Korrelationsberechnungen zeigen konnte, dass die Zusammenhänge zwischen

²⁵ Ich möchte diesen Faktor in Anlehnung an MÜLLER (2000) weiterhin „Rauschreduktion“ nennen, obgleich gerade bei diesem Belastungsexperiment eher ein höheres Rauschen infolge Belastung zu erwarten wäre, dieses also nicht reduziert wird. Es ist jedoch gerechtfertigt zu sagen, der Faktor „Rauschreduktion“ wird schlechter genutzt.

block- und serienbezogenen Parametern entweder nicht linear sind, oder diese trotz gemeinsamer Varianz auch in größerem Umfang von anderen Varianzquellen abhängen.

3.1.3 Die konditionellen Belastungen

Laut Modellaussage können sowohl neuromuskuläre, als auch zentralnervöse Beanspruchungen Auswirkungen auf die Bewegungsausführung und über diese auf das Bewegungsergebnis haben. Die zentralnervöse Beanspruchung soll mit einer Fahrradbelastung induziert werden, die zu einer Erhöhung des AZAN führt, die neuromuskuläre Beanspruchung einerseits mit einer Handkurbelbelastung, die vorrangig sowohl den m. triceps brachii, als auch den m. biceps brachii beansprucht, andererseits mit einer Hantelbelastung, die selektiv den m. triceps brachii beansprucht. Um gemäß dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept interindividuell gleiche Beanspruchungen zu induzieren, müssen zur Ermittlung der zu induzierenden Belastung auf dem Fahrrad und an der Handkurbel im Voraus Stufentests durchgeführt werden (vgl. Kapitel B3.1.3.1), zur Bestimmung des einzusetzenden Hantelgewichte wird ein isometrischer Maximalkrafttest durchgeführt (vgl. Kapitel B3.1.3.2).

3.1.3.1 Die Durchführung der Stufentests

Der Fahrradstufentest zur Bestimmung der Stufentest-Maximalleistung (modifiziert nach HOLLMANN 1985) wurde auf einem Ergometer „Conditronic 33“ der Firma KEIPER DYNAVIT durchgeführt. Die geräteabhängigen Faktoren (z.B. Drehzahl, Kurbellänge, Höhe der Kurbelachse, Schwungmasse) waren für alle Vpn gleich, die Sattelhöhe und die Lenkerstellung wurden individuell angepasst. Die weiblichen Vpn begannen mit einer Eingangsstufe von 100 Watt, die männlichen mit 160 Watt. Hierbei wurde eine drehzahlunabhängige Einstellung gewählt, d.h. die erbrachte Leistung bleibt unabhängig von der Trittfrequenz konstant. Als Orientierung wurde den Vpn eine Trittfrequenz von ca. 80 Umdrehungen pro Minute (U/min) vorgeschlagen (vgl. KINDERMANN 1987). Nach jeweils drei Minuten auf einer Belastungsstufe wird die Leistung um 60 Watt gesteigert, bis hin zum erschöpfungsbedingten Abbruch (Vita-maxima-Belastung, vgl. DE MARÉES/MESTER 1990, 171; MELLEROWICZ 1979, 55). Die Stufentest-Maximalleistung wird operational definiert als

Gleichung B 3.1

$$P_{\max} = P_{\text{komp}} + \frac{1}{t_{\text{Stufe}}} \times P_{\text{Steigerung}}$$

mit P_{komp} = Leistung der letzten komplett gefahrenen Stufe in Watt, t_{Stufe} = Stufendauer (in der Formel dimensionslos!) und $P_{Steigerung}$ = Leistungssteigerung pro Stufe in Watt. Die Herzfrequenz wurde mittels eines Sporttesters PE 3000 der Firma POLAR ELECTRO über einen am Brustkorb der Vpn angebrachten Elektrodengurt mit Sender erfasst und auf einem Armbanduhrempfänger kontinuierlich angezeigt. Das Vorgehen bei der Bestimmung der Stufentest-Maximalleistung am Handkurbelergometer (Typ „Fitness 33“ der Firma KEIPER DYNAVIT) war prinzipiell das gleiche wie auf dem Fahrradergometer. Die Eingangsstufe betrug hier für alle Vpn 30 Watt, die Steigerung pro Stufe 40 Watt.

3.1.3.2 Die Durchführung der isometrischen Maximalkraftmessung

Die Bestimmung der isometrischen Maximalkraft des m. triceps brachii erfolgte über eine eigens entwickelte Messvorrichtung. Dazu wurde eine Kette mit einem computergesteuerten dynamometrischen System verbunden, das aus einer 90 x 60 cm großen Mehrkomponenten-Messplattform (KISTLER, Typ 9287), einem Ladungsverstärker (8-Kanal-Einheit für Mehrkomponenten-Kraftmessungen, KISTLER, Typ 9861 A) und einem PC (SCHNEIDER 386 16-60) besteht. Zum Transfer der Daten wurde der PC um eine Karte der Firma STEMMER (DT 28 14) ergänzt. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mittels einer speziellen Software der Firma

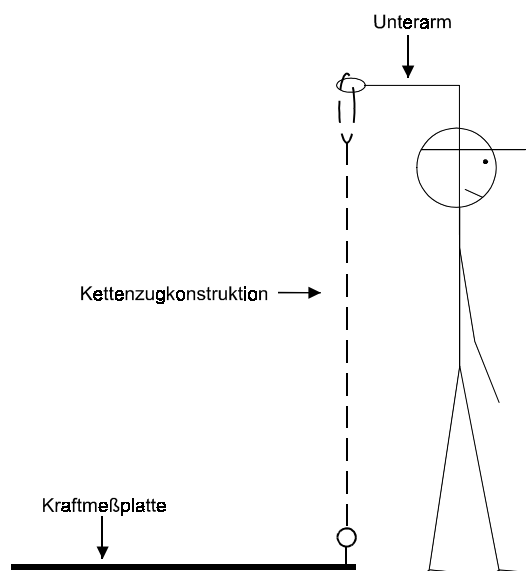


Abbildung 16: Hardware zur Messung der isometrischen Maximalkraft des m. triceps brachii.

STEMMER (EasyLab Version 1.6). Die Weiterverarbeitung der aufgezeichneten Daten wurde mit dem Programm QUICKLOOK/FFT Version 1.0 der Firma STEMMER durchgeführt. Die physisch erzeugten Kräfte waren als Spannungen an der Platte messbar. Aus diesen wurden die einwirkenden Kräfte berechnet. Die Spannungen wurden mit einer Frequenz von 1000 Hz registriert. Die Kette war hierbei so befestigt, dass die Vpn bei ihren Realisierungsversuchen jeweils einen Winkel von 90° im Ellenbogen- und 180° im Schultergelenk einnahmen, und somit die Zugrichtung orthogonal zur Kraftmessplatte verlief (vgl. Abbildung 16).

Die Vpn bekamen die Anweisung, in dieser Position für jeweils 6 sec einen maximalen Zug auf die Kette auszuüben. Es erfolgten drei Durchgänge mit jeweils einer Minute Pause dazwischen.

Aus den resultierenden Kraft-Zeit-Verläufen wurde der bei jeder Ausführung erreichte Kraft-Spitzenwert ermittelt. Als isometrische Maximalkraft des m. triceps brachii in 90°-Winkel-Stellung galt dann der maximale Kraftwert aus diesen drei Messungen. Dieser wurde durch die Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) dividiert, so dass man eine „isometrische Maximallast“ in kg erhält. Anhand letzterer erfolgte die Berechnung der für die Hantelbelastung prozentual einzusetzenden Last.

3.1.3.3 Die Beschreibung der konditionellen Belastungen

Um dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept entsprechend möglichst gleiche Teilbeanspruchungen zu induzieren, wurden ausgehend von den in den Vortests ermittelten Belastungsgrößen, prozentuale Anteile induziert. Dies erfolgte für die einzelnen Belastungen wie folgt:

3.1.3.3.1 Die zehnminütige Fahrradbelastung

Die Fahrradbelastung soll zu einer zentralnervösen Beanspruchung führen, die sich in einer Erhöhung des AZAN (operationalisiert über die FVF) zeigt. Sie beansprucht keine für die Wurfaufgabe spezifische Muskelgruppe, führt also nicht zu muskelgruppenspezifischen neuromuskulären Beanspruchungen. Vorliegende Befunde zeigen, dass eine fahrradergometrische Mittelzeitausdauerbelastung mit Endspurtsituation zu einer AZAN-Erhöhung führt (vgl. BÜSCH 1993, 77; OLIVIER 1996a, 160). Die Vpn werden mit 85% der im Stufentest ermittelten maximalen Herzfrequenz für acht Minuten belastet, bei einer vorgegebenen Drehzahl von ca. 80 U/min. In den letzten beiden Minuten sollen die Vpn im Bereich ihrer maximalen Herzfrequenz mit ca. 110 U/min fahren. Die Herzfrequenzen werden mit einem Sporttester kontrolliert (vgl. Kapitel B3.1.3.1). Empirische Befunde zeigen weiter, dass das durch diese Belastung erhöhte AZAN auch nach einer zehnminütigen Pause keine Reduktion zeigt (OLIVIER 1996a, 161). Es wird Motivationshilfe gegeben.

3.1.3.3.2 Die handkurbelergometrische Kurzzeitausdauerbelastung

Die handkurbelergometrische Belastung führt vorrangig zu Beanspruchungen des m. triceps brachii und des m. biceps brachii, somit zu muskelgruppenspezifischen neuromuskulären Beanspruchungen. Gleichzeitig bewirkt diese Belastung keine Veränderung des AZAN (vgl. HARIG 1998, 82). Die Vpn werden mit 150% der im Stufentest ermittelten Maximalleistung bei einer vorgegebenen Drehzahl von ca. 110 U/min belastet (drehzahlunabhängige Einstellung). Abbruchkriterium war das Unterschreiten von 85 U/min. Diese Belastung führt nach etwa einer Minute zum erschöpfungsbedingten Abbruch (vgl. HARIG 1998, 75; OLIVIER 1996a, 209f.). Bei

einer solchen Kurzzeitausdauerbelastung von ca. 1 min Dauer wird die Kontraktionsenergie hauptsächlich über die Glykolyse gewonnen. Limitierend sind die glykolytische Stoffwechselkapazität des Muskels und die laktatbedingte Azidose (vgl. ULMER 1995, 687f.). Bei Belastungen der hier beschriebenen Intensität führt die resultierende Azidose dann zwangsläufig zu einem Arbeitsabbruch. Das sich auch an anderen Stellen des neuromuskulären Systems Beanspruchungen infolge einer solchen Kurzzeitausdauerbelastung etablieren (z.B. Beanspruchung anderer Metaboliten, Veränderungen innervatorischer Parameter), zeigt im Überblick OLIVIER (1996a; vgl. auch DILLINGER 1997). Die Induzierung der handkurbelergometrischen Belastung erfolgt im Stehen. Die Grifffhöhe wird so eingestellt, dass am höchsten Punkt ein 90°-Winkel zur Transversalebene im Schultergelenk eingenommen wird²⁶. Bei dieser Aufgabe wird Motivationshilfe gegeben.

3.1.3.3 Die Hantelbelastung

Die Hantelbelastung führt ebenfalls zu einer neuromuskulären Beanspruchung der wurfrelevanten Muskelgruppen. Im Unterschied zur handkurbelergometrischen Belastung wird hier allerdings nur der m. triceps brachii selektiv beansprucht. Gleichzeitig ist auch hier nicht mit einer Veränderung des AZAN zu rechnen. Die Vpn werden instruiert, bei einer Winkelstellung von 180° im Schultergelenk mit einer Hantel das Ellenbogengelenk aus einer 90°-Winkelstellung vollständig zu strecken und wieder zu beugen. Ein solcher Zyklus sollte mit einer Frequenz von ca. ½ Hz ausgeführt werden. Vorversuche zeigten, dass mit ca. 40% der im isometrischen Maximalkrafttest ermittelten „isometrischen Maximallast“ die Belastung etwa nach einer Minute zum erschöpfungsbedingten Abbruch führt. Dieser ist ebenfalls auf glykolytische Effekte zurückzuführen. Als Abbruchkriterium galt, wenn die Vpn keine vollständige Streckung mehr erreichen konnte und erschöpfungsbedingt aufgeben mussten. Auch bei dieser Belastung wird Motivationshilfe gegeben.

3.1.4 Versuchspersonen

An dieser Untersuchung nahmen 16 sporttreibende Erwachsene (7 weiblich, 9 männlich) teil. 11 Versuchspersonen waren Studierende des Sportwissenschaftlichen Institutes der Universität des Saarlandes. Das Alter der Probanden lag zwischen 21 und 34 Jahren (\bar{x} = 25,3 Jahre, s = 3,62 Jahre). Die Teilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis und ohne finanzielle Entschädigung. Die Anwerbung der Versuchspersonen erfolgte durch den Versuchsleiter persönlich.

²⁶ Empirische Befunde zeigen, dass die Lage der Drehkurbeln zur Herzlage (über, auf oder unter Herzhöhe) weder Einfluss auf relevante Leistungsparameter, noch auf physiologische Größen hat (vgl. CUMMINS/GLADDEN 1983).

Tabelle 10: Übersicht über die sportlichen Aktivitäten der Versuchspersonen aus Experiment 1.

Sport pro Woche in Stunden (1 h = 45 min)		Ausübung einer Sportart, in der eine Wurfbewegung integraler Bestandteil ist	
Stunden pro Woche	n	Antwort	n
Weniger als 4	4	Handball	1
4 bis 8	8	Wasserball	1
9 bis 12	1		
mehr als 12	3		
Ausübung der Sportart Dart		Wie oft wird das Dartspiel ausgeübt	
Antwort	n	Antwort	n
ja	7	Mehrmals pro Woche	0
nein	9	Einmal pro Woche	0
		Einmal im Monat	1
		Weniger als einmal im Monat	5
		Keine Angabe	1
Ausübung einer Sportart, in der die Armmuskulatur beansprucht wird		Wöchentliches Training in dieser Sportart	
Antwort	n	Anzahl	n
ja	13	einmal	8
nein	3	2 bis 3 mal	2
		4 bis 6 mal	2
		mehr als 6 mal	1
Ausübung einer Ausdauersportart		Ausübung anderer Sportarten (z.B. Fußball, Tennis, u.a.)	
Antwort	n	Antwort	n
ja	12	ja	5
nein	4	nein	11

Um eine Einschätzung der sportlichen Aktivitäten der Versuchspersonen sowie ihres wurfspezifischen Expertiseniveaus vornehmen zu können, sollten sie einen diesbezüglichen Fragebogen beantworten (vgl. Anhang 1). Statistische Kennwerte der wichtigsten Items sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Hierzu ist anzumerken, dass zwar sieben Versuchspersonen angaben, bisweilen Dart zu spielen, jedoch fünf von diesen weniger als einmal pro Monat. Man kann davon ausgehen, dass

Tabelle 11: Leistungsparameter der Versuchspersonen aus Experiment 1.

	Fahrradergometrie		Handkurbelergometrie		Hantel
	P _{max} [W]	HF _{max} [min ⁻¹]	P _{max} [W]	HF _{max} [min ⁻¹]	F _{max} [N]
$\bar{x} \pm s$	266,3 ± 74,7	183,6 ± 8,4	128,3 ± 43,5	178,9 ± 9,0	12,3 ± 4,9
Minimum	140,0	166,0	70,0	161,0	5,90
Maximum	400,0	199,0	203,33	192,0	26,80

für diese spezielle Bewegungsaufgabe kein hohes Expertiseniveau vorhanden ist. Leistungsparameter, sowie physiologische Parameter der Stichprobe, zeigt Tabelle 11.

3.1.5 Untersuchungsablauf

Zum besseren Verständnis ist es notwendig, an dieser Stelle zunächst den Untersuchungsablauf zu erläutern, bevor – anhand der eingeführten Begrifflichkeiten – erklärt wird, wie die Würfe zur Auswertung zusammengefasst werden. Anschließend ist die Darstellung des Versuchsplans erst nachvollziehbar.

Für die Untersuchung wurden insgesamt sechs Termine veranschlagt. Zwei Termine sollten dazu dienen, dass sich die Vpn über eine Übungsphase die Bewegungsaufgabe aneignen, sowie die Leistungsparameter (Stufentest-Maximalleistung sowie maximale Herzfrequenz an Fahrrad- und Handkurbelergometer, isometrische Maximalkraft) und die FVF-Baseline zu ermitteln (vgl. Tabelle 12). An den vier Experimentalterminen galt es dann, die Kriteriums Aufgabe „Virtueller Dartwurf“ nach einem bestimmten Belastungstreatment auszuführen.

Tabelle 12: Inhaltliche Strukturierung der beiden Aneignungstermine.

Termin 1	Termin 2
1. FVF-Baselinebestimmung	1. Aneignung der motorischen Aufgabe (40 Wurfserien à acht Würfe)
2. Aneignung der motorischen Aufgabe (40 Wurfserien à acht Würfe)	2. Isometrischer Maximalkrafttest (vgl. Kapitel B3.1.3.2)
3. Fahrradergometer-Stufentest (vgl. Kapitel B3.1.3.1)	3. Handkurbelergometer-Stufentest (vgl. Kapitel B3.1.3.1)

Am ersten Untersuchungstermin wurde zunächst die FVF-Baseline bestimmt. Im unmittelbaren Anschluss sollten sich die Vpn in 40 Serien à acht Würfeln die virtuelle Dartwurfbewegung aneignen. Der Stufentest auf dem Fahrradergometer war der Abschluss des ersten Termins (siehe Tabelle 12). Der zweite Untersuchungstermin begann zunächst wieder mit einem Aneignungsblock von 40 Serien à acht Würfeln. Danach erfolgte die Ermittlung der isometrischen Maximalkraft. Nach einer fünfminütigen Pause endete dieser zweite Untersuchungstermin mit dem Stufentest am Handkurbelergometer (siehe Tabelle 12).

Der Ablauf der vier Experimentaltermine war vergleichbar (siehe im Überblick Tabelle 13). Zunächst erfolgte eine FVF-Messung zur Bestimmung des FVF-Ausgangsniveaus, der sich der erste Wurfblock zur Bestimmung des Ausgangsniveaus der Trefferleistung anschloss. Im

Tabelle 13: Untersuchungsablauf für die vier Experimentaltermine des ersten Hauptexperimentes für die unterschiedlichen Belastungsbedingungen.

OB	FR	HK	HT
<i>FVF-Messung Ausgangsniveau (FVF₁)</i>			
<u>Wurfblock Ausgangsniveau (WB_{AN})</u>			
10 Minuten Pause	Belastung	Belastung 1	Belastung 1
<u>Wurfblock 1 (WB₁)</u>			
1 Minute Pause	1 Minute Pause	Belastung 2	Belastung 2
<u>Wurfblock 2 (WB₂)</u>			
1 Minute Pause	1 Minute Pause	Belastung 3	Belastung 3
<u>Wurfblock 3 (WB₃)</u>			
<i>FVF-Messung 2 (FVF₂)</i>			
3 Minuten Pause	3 Minuten Pause	Belastung 4 – 6	Belastung 4 – 6
<u>Wurfblock 4 (WB₄)</u>			
<i>FVF-Messung 3 (FVF₃)</i>			
10 Minuten Pause			
<i>FVF-Messung 4 (FVF₄)</i>			
<u>Wurfblock Erholung (WB_{EH})</u>			

weiteren Wechsel wurden dann für die drei Belastungsbedingungen die jeweiligen Treatments gesetzt, nach welchen wiederum ein Würfblock zu absolvieren war. Zu spezifischen Zeitpunkten wurde zudem die FVF bestimmt. Die Festsetzung dieser Zeitpunkte erfolgte derart, dass diese über den jeweiligen Experimentaltermin gleichmäßig verteilt waren. Wie wir bereits wissen, ist das AZAN, welches über die FVF operationalisiert wird, ein tonischer Aktivierungszustand. Deswegen sind Belastungen längerer Dauer notwendig, um das AZAN zu erhöhen. Diese Erhöhung ist dann aber auch nach zehn Minuten noch nachweisbar (vgl. OLIVIER 1996a). Es wurde daher versucht, die FVF-Messzeitpunkte so zu verteilen, dass maximal zehn Minuten zwischen diesen Messungen lagen und somit ein tendenzieller Verlauf der FVF über den Termin aufzuzeigen war. Unter der unbelasteten Bedingung (OB) wurden zu den Belastungszeitpunkten der drei Belastungsbedingungen Pausen geschaltet; dies geschah ebenso für die Bedingung „Fahrradbelastung“ (FR), nach ihrer einzigen Belastung zu Beginn.

3.1.6 Die Zusammenfassung der einzelnen Würfe

An dieser Stelle bedarf es einer Erläuterung, nach welchem Kalkül die einzelnen Würfe jeweils zusammengefasst wurden. Wie bereits erwähnt, gibt es bei dem MÜLLERSchen Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Faktorenbeiträge einen Trade-off zwischen der Genauigkeit, mit der die einzelnen Werte valide bestimmt werden können, und der zeitlichen Auflösung. Da dieses Experiment darauf abstellt, zu ermitteln, wie sich diese Größen infolge

bestimmter konditioneller Belastungen und dem anschließenden Erholungsprozess verändern, ist die zeitliche Auflösung nicht zu vernachlässigen. Dies darf aber nicht auf Kosten der validen Bestimmung dieser Größen gehen. Entgegen dem Untersuchungsablauf, wonach in jedem Wurfblock der Experimentaltermine zehn Serien à acht Würfeln zu absolvieren waren, wurden zur Auswertung neue Blöcke gebildet. Der Wurfblock „Ausgangsniveau“ (WB_{AN}) und der Wurfblock „Erholung“ (WB_{EH} , nach der zehnminütigen Pause) wurden für die Auswertung übernommen, d.h. es wurden jeweils die entsprechenden Serien mit den Einzelwürfen zur Auswertung herangezogen (insgesamt jeweils 80 Würfe). Bei den Wurfblöcken WB_1 bis WB_4 war das Vorgehen wie folgt: jeweils zwei aufeinanderfolgende Wurfserien wurden aus jedem der vier Wurfblöcke heraus genommen und zusammen ausgewertet, d.h. die Serien 1 und 2 aus den Wurfblöcken WB_1 bis WB_4 bildeten einen neuen **Wurfserienblock**²⁷ $WSB_{1/2}$ (analoges galt für die neuen Wurfserienblöcke $WSB_{3/4}$, bis $WSB_{9/10}$). Insgesamt beinhaltete ein solcher neu gebildeter Wurfserienblock 8 (Würfe) x 2 (Serien) x 4 (Wurfblöcke nach einem Belastungstreatment im Untersuchungsablauf), insgesamt also 64 Würfe. Diese Anzahl wird als hinreichend zur validen Bestimmung der zu ermittelnden Größen erachtet. Durch diese Form der Zusammenfassung erhält man auch eine ausreichende zeitliche Auflösung der Veränderung dieser Größen im Anschluss an die jeweils induzierte Belastung. Eine noch höhere zeitliche Auflösung hätte man dadurch erreichen können, jeweils immer einzelne Serien aus den vier Wurfblöcken zusammenzufassen. Dies hätte jedoch zu einer nicht mehr hinreichend validen Bestimmung der Größen geführt (da dann nur noch 32 Einzelwürfe zur Auswertung zur Verfügung gestanden hätten). Diesem geringen Nachteil bei der zeitlichen Auflösung kann dadurch begegnet werden, dass zusätzlich serienbezogene Parameter zur Auswertung und Ergebnisdarstellung herangezogen werden. Deren Zusammenfassung gestaltete sich wie folgt: Über die zehn Wurfserien des Wurfblocks „Ausgangsniveau“ wurde jeweils der Mittelwert der einzelnen serienbezogenen Parameter ermittelt (diese werden mit WS_{AN} bezeichnet). Gleiches erfolgte für die serienbezogenen Parameter der zehn Wurfserien des Wurfblocks „Erholung“ (WS_{EH}). Für die vier Wurfblöcke nach dem jeweiligen Belastungstreatment wurden jeweils die einzelnen analogen Wurfserien der Wurfblöcke zusammengefasst, also jeweils die ersten Wurfserien der Wurfblöcke WB_1 bis WB_4 , jeweils die zweiten Wurfserien dieser Wurfblöcke u.s.w. (WS_1 bis WS_{10}).

²⁷ Diese neue Bezeichnung wird gewählt, um die Abgrenzung einerseits zu den Wurfserien in den einzelnen Wurfblöcken, andererseits zu den Wurfblöcken selbst herzustellen. Mit diesem Begriff soll ausgedrückt werden, dass ein neuer – künstlich konstruierter – Wurfblock aus bestimmten analogen Wurfserien der jeweiligen realen Wurfblöcke gebildet wird.

Während man über die Wurfserienblöcke nun den Anteil der Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung infolge konditioneller Belastungswirkung bestimmen kann, dienen die serienbezogenen Parameter dazu, etwas über den Status ausfahrungsrelevanter Größen in einer bestimmten Wurfserie nach dem Belastungstreatment auszusagen.

An dieser Stelle sei noch angemerkt, daß in den acht Wurfblöcken der Aneignungsphase, die in diesem Experiment nicht Gegenstand der zentralen Hypothesenprüfungen sind, jeweils die 80 Würfe zur Auswertung herangezogen wurden. Diese Blöcke werden im weiteren Verlauf als WB_{A1} bis WB_{A8} bezeichnet (Index A steht in diesen Fällen für „Aneignungsphase“)

3.1.7 Versuchsplan

Den experimentellen Überlegungen liegt bzgl. der abhängigen Variablen der Trefferleistung (d_{Leistung} , d_{Kova} , d_{Stabi} , d_{Rauschen}) ein zweifaktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung auf zwei Faktoren zugrunde:

- **Belastungsbedingung** (Messwiederholungsfaktor 1, vierfach gestuft): Ohne Belastung (OB), Fahrradbelastung (FR), Handkurbelbelastung (HK), Hantelbelastung (HT).
- **Messzeitpunkt** (Messwiederholungsfaktor 2, siebenfach gestuft): Wurfblock Ausgangsniveau (WB_{AN}), fünf Wurfserienblöcke im direkten Anschluss an das Treatment ($WSB_{1/2}$, $WSB_{3/4}$, $WSB_{5/6}$, $WSB_{7/8}$, $WSB_{9/10}$), Wurfblock nach Erholung (WB_{EH}).

Diese Messzeitpunkte beziehen sich auf die Veränderung der Trefferleistung und die Faktoren der Veränderung. Bzgl. der methodisch abhängigen Variablen FVF – als Indikator des AZAN – liegt den experimentellen Überlegungen ebenfalls ein zweifaktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung auf zwei Faktoren zugrunde:

- **Belastungsbedingung** (Messwiederholungsfaktor 1, vierfach gestuft): Die Stufungen entsprechen denen der abhängigen Variablen der Trefferleistung (siehe oben).
- **Messzeitpunkt** (Messwiederholungsfaktor 2, vierfach gestuft): FVF-Messung zur Bestimmung des Ausgangsniveaus (FVF_1), drei FVF-Messungen, die nach entsprechendem Kalkül über den Experimentaltermin (FVF_2 bis FVF_4) verteilt waren.

Die vier verschiedenen Stufen des Faktors Belastungsbedingung wurden den Probanden in ausbalancierter Reihenfolge dargeboten, um Sequenzeffekte zu vermeiden²⁸. Bei dem

Tabelle 14: Design des Versuchsplans für die abhängigen Variablen der Trefferleistung.

Zweifaktorieller Versuchsplan mit Wiederholungsmessungen auf den Faktoren A (p = 4) und B (q = 7). Design WW-4 x 7	
Faktor A (Belastungsbedingung)	Faktor B (Messzeitpunkt)
A ₁ (Ohne Belastung, OB)	B ₁ , B ₂ ,....., B ₇
A ₂ (Fahrradbelastung, FR)	Y _{1 1} , Y _{1 2} ,.....Y _{1 7}
A ₃ (Handkurbelbelastung, HK)	Y _{2 1} , Y _{2 2} ,.....Y _{2 7}
A ₄ (Hantelbelastung, HT)	Y _{3 1} , Y _{3 2} ,.....Y _{3 7}
	Y _{4 1} , Y _{4 2} ,.....Y _{4 7}

experimentellen

Design handelt es sich um einen zweifaktoriellen Versuchsplan mit Wiederholungsmessungen auf den beiden Faktoren „Belastungsbedingung“ und „Messzeitpunkt“

(siehe Tabelle 14²⁹; zur Terminologie vgl. SARRIS 1992).

Für die zusätzlich zur Auswertung herangezogenen serienbezogenen Parameter liegt eine leicht veränderte Stufung der unabhängigen Variablen Messzeitpunkt vor. Diese ist zwölfmal gestuft: die gemittelten Wurfserien des Ausgangsniveaus (WS_{AN}), die zehn Wurfserien nach dem Belastungstreatment (WS₁ bis WS₁₀), die – wie beschrieben (vgl. Kapitel B3.1.6) – über die vier Wurfblöcke nach Belastung gemittelt wurden und die gemittelten Wurfserien des Messzeitpunkts „Erholung“ (WS_{EH}).

3.1.8 Die Erfassung der Flimmerverschmelzungsfrequenz

Die Messung der FVF erfolgte über das räumlich-zeitliche Auswahlverfahren (RZA, vgl. zusammenfassend OLIVIER/WIEMEYER/BÜSCH 1991; zur Diskussion der Messparameter vgl. WIEMEYER/OLIVIER/BÜSCH 1991).

²⁸ Da eine vollständige Permutation der vier Belastungsbedingungen aus untersuchungsökonomischen Gründen nicht möglich ist und auch nicht erwartet wird, dass spezielle Abfolgekombinationen Treatmenteffekte überlagern, wurde entschieden, eine bedingt zufällige Stichprobe von Abfolgen zu wählen. Bedingt insofern, als zumindest jede der vier Belastungsarten an jedem der vier aufeinanderfolgenden Experimentaltermine einmal gesetzt werden sollte. Die Zuordnung zu einer bestimmten Reihenfolge erfolgte anhand der gemittelten Trefferleistung der letzten zehn Wurfserien des zweiten Aneignungstermins im Sinne einer Parallelisierung. Die Reihenfolge wurde nicht als eigenständiger Gruppierungsfaktor ins Untersuchungsdesign übernommen, da – wie erwähnt – keine spezifische Erwartung bzgl. der Wirkung dieses Faktors besteht. Von daher sollte eine Ausbalancierung der Stufen des Faktors „Belastungsbedingung“ für dieses experimentelle Vorhaben genügen.

²⁹ Hier sei explizit darauf hingewiesen, dass sich die tabellarische Veranschaulichung des Untersuchungsdesigns auf die abhängigen Variablen Trefferleistung bzw. deren Veränderung sowie die Beiträgen der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung bezieht.

Tabelle 15: Technische Daten, physikalische Parameter und Verfahrensparameter des FVF-Messsystems RZA (konkretisiert nach OLIVIER/WIEMEYER/BÜSCH 1991).

Technische Daten	
Länge des Tubus	55 cm
Durchmesser des Tubus	16 cm
Gewicht des Tubus	ca. 2,8 kg
Physikalische Parameter	
Sehabstand	ca. 46 cm
Flimmerstimuli	
• Durchmesser	0,4 cm
• Durchmesser in Sehwinkel/Grad	ca. 0,5 °
• Farbe	rot (ca. 570 nm)
• Hell-Dunkel-Quotient	1:2
• Bestrahlungsstärke	$5,5^{-9} \text{ W/cm}^2$
• Wellenform	Sinusoidal
Stärke des Rings um Flimmerstimuli	0,3 cm
Farbe des Hintergrundes	schwarz
Verfahrensparameter	
Anzahl der Alternativen	2
Anfangsfrequenz	individuell gewählt
Steigerungsstufe	1 Hz
Darbietungsdauer der Flimmerstimuli	1,25 s
Pausendauer zwischen zwei Flimmerstimuli	0,20 s
Anzahl von Messungen pro Messzyklus (Hz-Stufe)	4
Pausendauer zwischen zwei Messzyklen	1,5 s
Abbruchkriterium (Falschnennungen)	4

Die Festlegung der Parameter erfolgte unter Berücksichtigung des aktuellen Diskussionsstandes (vgl. OLIVIER 1996a; WIEMEYER/OLIVIER 1991). Unter Abwägung des Aspektes der Zeitminimierung und wahrscheinlichkeitstheoretischer Erwägungen wurde die Anzahl der Stimuli auf zwei³⁰ (möglich sind maximal vier), die Anzahl der Messzyklen auf vier festgelegt. Die Anfangsfrequenz wurde individuell Baseline-abhängig festgelegt. Die Baseline wurde dabei zu Beginn des ersten Untersuchungstermins als arithmetisches Mittel dreier Ruhemessungen ermittelt. Die weiteren Parameter konnten entsprechend der Voreinstellung übernommen werden (vgl. Tabelle 15).

³⁰ OLIVIER (1996a, 223f.) fand tendenziell höhere FVF-Werte bei Messungen mit zwei gegenüber vier Flimmerstimuli, in allerdings nicht interpretationswürdiger Größenordnung von 0,2 Hz. Den von ihm ermittelten Korrelationskoeffizienten von $r = .90$ sehe ich, wie OLIVIER, als ausreichend an, um ohne Beeinträchtigung der Reliabilität und der internen Validität die Anzahl der Flimmerstimuli zu reduzieren.

3.2 Operationale Hypothesen

3.2.1 Hypothesen zum allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveau (AZAN)

Diese Hypothesengruppe stellt einerseits eine methodische Voraussetzungsprüfung dar, d.h. es soll geprüft werden, ob die induzierten konditionellen Belastungen zu den erwarteten Effekten auf das AZAN führen. Konkret stellt sich also die Frage, ob die analytische Trennung von zentralnervösen und neuromuskulären Beanspruchungen für diese Untersuchung gegeben ist, oder ob sich erwartungswidrige Effekte zeigen (z.B. dass die durch die spezifischen Belastungen induzierten neuromuskulären Beanspruchungen gleichzeitig zu zentralnervösen Beanspruchungen führen). Andererseits soll geprüft werden, ob die motorische Aufgabe selbst oder aber auch allein eine antizipierte Belastung zu zentralnervösen Effekten durch Feedforward-Prozesse führen (im Sinne einer Zweckursache; vgl. Kapitel A7).

3.2.1.1 Hypothesen zu den Baseline- und Ausgangsniveaumessungen

Da die Baselinebestimmung ohne experimentell gesetztes Treatment zwischen den einzelnen Messungen erfolgt und zur Vermeidung von Lern- bzw. Gewöhnungseffekten drei Probemessungen durchgeführt werden, wird erwartet, dass die absoluten FVF-Werte konstant bleiben (vgl. auch die Befunde von BÜSCH 1993, 75ff.; im Widerspruch hierzu vgl. HARIG 1998, 79; OLIVIER 163f.). Daraus resultiert die operationale Nullhypothese:

H_{FVF} 0.1: Die absoluten FVF-Werte verändern sich nicht während der Baselinebestimmung.

Weiter wird erwartet, dass sich die FVF vor dem Belastungstreatment nicht in Abhängigkeit von der folgenden Belastungsbedingung unterscheidet, d.h. es liegen bezüglich der FVF gleiche Voraussetzungen vor, und die FVF unterscheidet sich nicht vom Baselinewert. Denkbar sind zwar antizipatorisch-selbstregulatorische Einflüsse der motorischen Aufgabe bzw. der folgenden konditionellen Belastung auf das AZAN, wie dies das Drei-Faktoren-Modell auch abbildet, allerdings liegen diesbezüglich keine begründeten Hypothesen vor. Weiterhin wird erwartet, dass sich keine Reihenfolge-Effekte (bspw. Lern- bzw. Gewöhnungseffekte) bei den FVF-Messungen niederschlagen und somit Treatmenteffekte überlagern (vgl. Kapitel B3.1.5, Fußnote 28). Daraus ergibt sich die Überprüfung folgender Nullhypothesen:

H_{FVF} 0.2a: Die dFVF-Werte unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF_1 zwischen den Belastungsbedingungen.

H_{FVF} 0.2b: Die dFVF-Werte sind zum Messzeitpunkt FVF₁ nicht von Null verschieden.

3.2.1.2 Hypothesen zu Zweck- und Wirkungsursachen

Da unter der Belastungsbedingung OB keine konditionelle Belastung gesetzt wird, die zu einer Veränderung des AZAN im Sinne einer Wirkungsursache führen kann, ist anzunehmen, dass sich die FVF nicht verändert. Gleichzeitig liegen keine begründeten Annahmen vor, wie sich die motorische Aufgabe im Sinne einer Zweckursache auf die FVF-Dynamik auswirkt, die sich in einer Veränderung der FVF zum Messzeitpunkt FVF₁ gegenüber der Baselinemessung zeigen sollte. Daher werden folgende Nullhypothesen geprüft:

H_{FVF} 1.1: Die dFVF-Werte unter der Belastungsbedingung OB sind zum Messzeitpunkt FVF₁ nicht von Null verschieden.

H_{FVF} 1.2: Die dFVF-Werte unter der Belastungsbedingung OB verändern sich nicht vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄.

Die gewählte Fahrradbelastung soll zu einer Erhöhung des AZAN führen, um diesen Effekt auf die abhängigen Variablen der Trefferleistung zu untersuchen. Es wird erwartet, dass sich die FVF über die Messzeitpunkte verändert. Konkret wird – aufgrund empirischer Befunde (vgl. Kapitel A8.1.2) – ein Anstieg der FVF vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₂ (das ist der erste FVF-Messzeitpunkt nach der Fahrradbelastung), sowie ein Abfall vom Messzeitpunkt FVF₃ zum Messzeitpunkt FVF₄ angenommen. Gleichzeitig existieren keine begründeten Erwartungen, wie sich die antizipierte Belastung im Sinne einer Zweckursache auf die FVF-Dynamik auswirkt. Es werden daher folgende Hypothesen überprüft:

H_{FVF} 2.1: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und FR unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF₁.

H_{FVF} 2.2: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und FR verändern sich vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ unterschiedlich. Die dFVF-Werte zeigen dabei unter der Belastungsbedingung FR einen Anstieg von Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₂ und einen Abfall von Messzeitpunkt FVF₃ zu Messzeitpunkt FVF₄.

Für die beide neuromuskulären Belastungsbedingungen HK und HT wird erwartet, dass keine Veränderungen des AZAN als Folge des gesetzten Belastungstreatments zu verzeichnen sind. Dafür spricht zum einen, dass kurzzeitige Belastungen im Bereich bis zu einer Minute durch den

tonischen Charakter des AZAN (vgl. Kapitel A8.1.1) keine bedeutsamen Veränderungen bewirken. Zum anderen konnte auch OLIVIER (1996a) mit einer ähnlichen intervallartigen Belastungsstruktur – bei der er allerdings als erste Belastung eine Mittelzeitausdauerbelastung induzierte – nur einen tendenziellen Anstieg der FVF aufzeigen. Für die Effekte antizipierten Belastung gibt es wiederum keine begründeten Vermutungen. Daraus resultiert die Überprüfung folgender Hypothesen:

H_{FVF} 3.1: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HK unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF₁.

H_{FVF} 3.2: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HK verändern sich vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ nicht unterschiedlich.

H_{FVF} 4.1: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HT unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF₁.

H_{FVF} 4.2: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HT verändern sich vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ nicht unterschiedlich.

H_{FVF} 5.1: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen HK und HT unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF₁.

H_{FVF} 5.2: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen HK und HT verändern sich vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ nicht unterschiedlich.

3.2.2 Hypothesen zur Veränderung der Trefferleistung

3.2.2.1 Aneignungsphase

Die Aneignungsphase soll den Vpn dazu dienen, die Bewegungsaufgabe „Virtueller Dartwurf“ zu üben und ein ausreichendes Experteniveau zu erlangen, sodass die im eigentlichen experimentellen Ablauf zu verzeichnenden Effekte auf die Trefferleistung tatsächlich auf das gesetzte Belastungstreatment zurückzuführen und nicht durch noch stattfindende Lernprozesse überlagert sind. Eine solche Überlagerung ist natürlich nicht auszuschließen und wird gerade über eine weitere Nutzung des Faktors „Rauschreduktion“ noch erwartet. Die vorgenommene Ausbalancierung bzgl. der Sequenz der an den einzelnen Terminen zu absolvierenden

Belastungen sollte diese Effekte dennoch minimieren. Eine übungsbedingte Verbesserung der Trefferleistung über die Aneignungsphase, an der alle Faktoren beteiligt sind, ist zu erwarten (vgl. Kapitel A11). Daher ergeben sich folgende Hypothesen:

H_L 0.1a: Die Trefferleistung verbessert sich von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A8}.

H_L 0.1b: Alle Faktoren der Veränderung der Trefferleistung leisten einen Beitrag zur Verbesserung der Trefferleistung von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A8}.

Im Folgenden sollen die Hypothesen bzgl. der Effekte der induzierten Belastungen auf die Trefferleistung formuliert werden. Für die Beiträge der Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung sollen keine Hypothesen formuliert werden, da keine begründeten Annahmen bestehen, über welchen Faktor bzw. über welche Faktoren eine Beeinträchtigung der Trefferleistung erfolgt. Diese Prüfungen werden a posteriori erfolgen. Gleiches gilt für die serienbezogenen Parameter.

3.2.2.2 *Hypothesen zur Belastungsbedingung „Ohne Belastung“ (OB)*

Da unter der Belastungsbedingung OB kein experimentelles Treatment vor den jeweiligen Wurfblöcken gesetzt und auch keine antizipatorisch-selbstregulatorische Veränderung des AZAN angenommen wird, die Auswirkungen auf die Trefferleistung haben könnte, wird erwartet, dass sich die Trefferleistung vom Wurfblock WB_{AN} zum Wurfserienblock WSB_{1/2} nicht verändert. Des Weiteren wird vermutet, dass durch die motorische Aufgabe selbst keine nennenswerten neuromuskulären Beanspruchungen über die weiteren Wurfblöcke induziert werden, was gegen eine Zusammenfassung von Serien aus verschiedenen Wurfblöcken zu den beschriebenen Wurfserienblöcken sprechen würde. Da keine Belastung vor den Wurfblöcken gesetzt wurde und auch keine Veränderung zu Wurfserienblock WSB_{1/2} anzunehmen ist, wird erwartet, dass sich die Trefferleistung über die Serien von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} nicht verändert. Ebenso ist eine Veränderung der Trefferleistung im Wurfblock WB_{EH} nicht zu vermuten. Aufgrund dieser Erwartungen werden folgende zu prüfenden Hypothesen formuliert:

H_L 1.1: Die relative Trefferleistung ist unter der Belastungsbedingung OB im Wurfserienblock WSB_{1/2} nicht von Null verschieden.

H_L 1.2: Die relative Trefferleistung verändert sich unter der Belastungsbedingung OB nicht über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10}.

H_L 1.3: Die relative Trefferleistung ist unter der Belastungsbedingung OB im Wurfblock WB_{EH} nicht von Null verschieden.

3.2.2.3 Hypothesen zur Belastungsbedingung „Fahrrad“ (FR)

Durch das induzierte Treatment – die beschriebene Fahrradbelastung (vgl. Kapitel B3.1.3.3.1) – sollte eine Steigerung des AZAN hervorgerufen werden. Ob sich ein gesteigertes AZAN jedoch positiv auf die Trefferleistung auswirkt, oder sie nicht beeinflusst, hängt von dem Zusammenhang zwischen Trefferleistung und AZAN ab (vgl. A14.2). Folgende Nullhypothesen werden daher einer Prüfung unterzogen:

H_L 2.1: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR unterscheiden sich nicht im Wurfserienblock WSB_{1/2}.

H_L 2.2: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR unterscheiden sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} nicht und sie verändern sich nicht unterschiedlich.

H_L 2.3: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH}.

3.2.2.4 Hypothesen zur Belastungsbedingung „Handkurbel“ (HK)

Die Handkurbelbelastung soll zu einer neuromuskulären Beanspruchung führen, aufgrund derer die Handkurbelbelastung selbst nicht weiter durchgeführt werden kann (erschöpfungsbedingter Abbruch). Diese neuromuskulären Beanspruchungen sollten dazu führen, dass die Trefferleistung im Wurfserienblock WSB_{1/2} gegenüber dem Ausgangsniveau reduziert wird. Im Verlaufe der anschließenden Wurfserien nach der Belastung sollten die einsetzenden Erholungsprozesse bewirken, dass sich die Trefferleistung von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} wieder verbessert. Es existieren keine Anhaltspunkte, begründet zu sagen, wie lange sich die aus der Belastung resultierenden Beanspruchungszustände auf die Trefferleistung bei der Wurfaufgabe auswirken. Es wird daher willkürlich eine Pause von zehn Minuten nach der letzten Belastung gesetzt, um zu überprüfen, ob dieses Zeitintervall ausreichend ist, die erwarteten negativen Auswirkungen auf die Trefferleistung durch die neuromuskuläre Beanspruchung zu nivellieren. Aufgrund dieser Erwartungen werden folgende Hypothesen geprüft:

H_L 3.1: Die relative Trefferleistung unter der Belastungsbedingung HK ist im Wurfserienblock WSB_{1/2} geringer als unter der Belastungsbedingung OB.

H_L 3.2: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HK verändern sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} unterschiedlich. Die relativen Trefferleistungen sind unter der Belastungsbedingung HK geringer.

H_L 3.3: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HK unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH}.

3.2.2.5 Hypothesen zur Belastungsbedingung „Hantel“ (HT)

Die Annahmen, die für die Effekte der Handkurbelbelastung auf die Trefferleistung gemacht wurden, werden analog auch für die Effekte der Hantelbelastung formuliert.

H_L 4.1: Die relative Trefferleistung unter der Belastungsbedingung HT ist im Wurfserienblock WSB_{1/2} geringer als unter der Belastungsbedingung OB.

H_L 4.2: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HT verändern sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} unterschiedlich. Die relativen Trefferleistungen sind unter der Belastungsbedingung HT geringer.

H_L 4.3: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HT unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH}.

3.2.2.6 Hypothesen zum Vergleich der Belastungsbedingungen „Handkurbel“ (HK) und „Hantel“ (HT)

Ein Vergleich der beiden Belastungsbedingungen „Handkurbel“ und „Hantel“ soll erfolgen, da zusätzlich heuristisch überprüft werden soll, ob diese beiden Belastungen, die zu neuromuskulären Beanspruchungen führen, sich für die Bedingung HT nur auf die agonistischen Muskelgruppen auswirken, für die Bedingung HK auch zusätzlich die antagonistischen, zu unterschiedlichen Effekten auf die Trefferleistung führen. Es liegen jedoch keine spezifischen Erwartungen vor, ob und wenn ja, wie sich die durch die Handkurbel- und die Hantelbelastung induzierten neuromuskulären Beanspruchungen in ihrer Wirkung auf die Trefferleistung unterscheiden. Es werden daher folgende Nullhypothesen überprüft:

H_L 5.1: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung HK und der Belastungsbedingung HT unterscheiden sich nicht im Wurfserienblock WSB_{1/2}.

H_L 5.2: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung HK und der Belastungsbedingung HT verändern sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} nicht unterschiedlich.

H_L 5.3: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung HK und der Belastungsbedingung HT unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH}.

3.3 Operationalisierung und Erfassung von Vorbelastungen

Als zusätzliche abhängige (Kontroll-) Variablen werden in Anlehnung an OLIVIER (1996a, 104) die Zeitpunkte sportlicher Belastungen und die Intensitäten der resultierenden Beanspruchungen ermittelt, die vor den sechs Untersuchungsterminen liegen. Dabei werden auch die im Rahmen des Experimentes vorausgegangenen Belastungen mitberücksichtigt. Explizit wird nach Beanspruchungen der Armmuskulatur gefragt. Die Zeitpunkte sportlicher Belastung werden dabei über die drei Stufen „am Untersuchungstag“, „am Tag vor dem Untersuchungstag“ und „zwei Tage oder länger vor dem Untersuchungstag“ operationalisiert. Die Beanspruchungsermittlung erfolgt nach dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept über die subjektive Bewertung der erlebten Beanspruchungsintensität anhand einer sechsstufigen Skala mit den Extrema „keine sportliche Belastung“ und „sportliche Belastung mit hoher Intensität“. Die Daten werden mittels eines Fragebogens erfasst (vgl. Anhang 2).

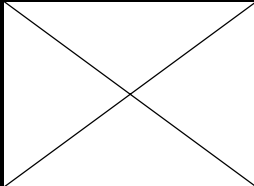
Die inferenzstatistische Auswertung der Daten zeigt, dass es zwischen den Untersuchungsterminen mit den vier Belastungsbedingungen keine Unterschiede hinsichtlich der allgemeinen körperlichen Vorbeanspruchung gibt (FRIEDMAN-Test, $1.0 \geq p \geq .676$, $n = 16$). Bezogen auf die spezifische Beanspruchung der Armmuskulatur zeigen sich ebenfalls keine Unterschiede hinsichtlich vorhergehender Beanspruchungen zwischen den vier Untersuchungsterminen (FRIEDMAN-Test, $.392 \geq p \geq .175$, $n = 16$). Auch zwischen den beiden Aneignungsterminen können weder hinsichtlich allgemeiner Vorbeanspruchungen (WILCOXON-Test, $.715 \geq p \geq .101$, $n = 16$), noch hinsichtlich spezifischer Vorbeanspruchungen der Armmuskulatur Unterschiede festgestellt werden (WILCOXON-Test, $1.0 \geq p \geq .131$, $n = 16$). Insgesamt kann daher von einer etwa gleichen Vorbeanspruchung zu den Untersuchungsterminen ausgegangen werden.

3.4 Ergebnisse

3.4.1 Belastungskennwerte

Zunächst sollen die statistischen Kennwerte bzgl. der Dauer der einzelnen Belastungen und der Dauer der einzelnen Wurfblöcke dargestellt werden. Dies dient einerseits dazu sicherzustellen, dass die Belastungen die angestrebte Belastungsdauer erreichten, um die intendierten Beanspruchungen hervorzurufen und andererseits zu überprüfen, ob infolge der Belastung möglicherweise ein „Erholungsverhalten“ erkennbar ist, in dem Sinne, dass sich die Vpn unter den belasteten Bedingungen zur Absolvierung eines Wurfblocks länger Zeit lassen (und somit auch über längere Zeit Erholungsprozesse ablaufen können). Die statistischen Kennwerte der Dauer der einzelnen Belastungen zeigt Tabelle 16.

Tabelle 16: Zeitdauer der einzelnen Belastungen für die verschiedenen Belastungsbedingungen.

	Fahrradbelastung t [sec]	Handkurbelbelastung t [sec]	Hantelbelastung t [sec]
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Belastung 1	586,3 \pm 25,0	77,5 \pm 32,7	82,9 \pm 29,4
Belastung 2		55,4 \pm 9,9	52,3 \pm 16,1
Belastung 3		49,4 \pm 11,4	45,6 \pm 12,4
Belastung 4		55,8 \pm 12,1	59,4 \pm 16,4
Belastung 5		41,1 \pm 14,2	31,9 \pm 11,0
Belastung 6		38,4 \pm 10,5	26,9 \pm 8,7

Die Fahrradbelastung liegt im Mittel nicht bei 600 sec, obwohl die Vpn dazu instruiert wurden, was darauf zurückzuführen ist, dass vier der insgesamt 16 Vpn die letzten beiden Minuten, die im Bereich der maximalen Herzfrequenz zu absolvieren waren, nicht mehr ganz bewältigen konnten: drei Vpn brachen nach 9:00 min ab, eine nach 9:20 min. Die jeweilige Dauer der Einzelbelastungen für die beiden neuromuskulären Belastungsbedingungen HK und HT (siehe Tabelle 16 und Abbildung 17) wurden zusätzlich mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den beiden Faktoren „Belastungszeitpunkt“ (sechsfach gestuft) und „Belastungsbedingung“ (zweifach gestuft) auf signifikante Effekte hin überprüft. Hinsichtlich der Zeitdauer der Belastungen zeigt sich hierbei für die beiden neuromuskulären Beanspruchungsbedingungen HK und HT kein Unterschied über die sechs Belastungszeitpunkte ($F_{(1, 15)} = 0,487$; $p = .496$). Signifikant wird der Faktor „Belastungszeitpunkt“ ($F_{(5, 75)} = 41,815$; $\varepsilon = ,383$; $p_{\text{kor.}} = .000^{***}$; $f = 1,67$). A posteriori durchgeführte Einzelvergleiche mit BONFERONI-Korrektur zeigen fast ausnahmslos signifikante

Unterschiede in der Dauer der einzelnen Belastungen auf dem 5%-Signifikanzniveau: Lediglich die Belastungen 2 und 4 sowie die Belastungen 5 und 6 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Dauer nicht bedeutsam voneinander. Tendenziell ist eine Reduktion in der Belastungsdauer von Belastung 1 zu Belastung 3 und von Belastung 4 zu Belastung 6 zu verzeichnen. Der signifikante Anstieg der Belastungsdauer von Belastung 3 zu Belastung 4 ist darauf zurückzuführen, dass die Vpn nach der dritten Belastung im Anschluss an den Wurfblock zusätzlich noch eine FVF-Messung zu absolvieren hatten, somit eine längere Zeit für Erholungsprozesse in der Muskulatur gegeben war. Die Interaktion „Belastungsbedingung x Belastungszeitpunkt“ wird nicht signifikant ($F_{(5, 75)} = 2,384$; $\varepsilon = ,387$; $p_{\text{korr.}} = .111$). Die Belastungsdauer für die erste Belastung liegt mit im Mittel 77,5 sec in dem Bereich, den auch OLIVIER mit 79,0 sec (1996, 99) und HARIG mit 69,5 sec (1998) für die gleiche

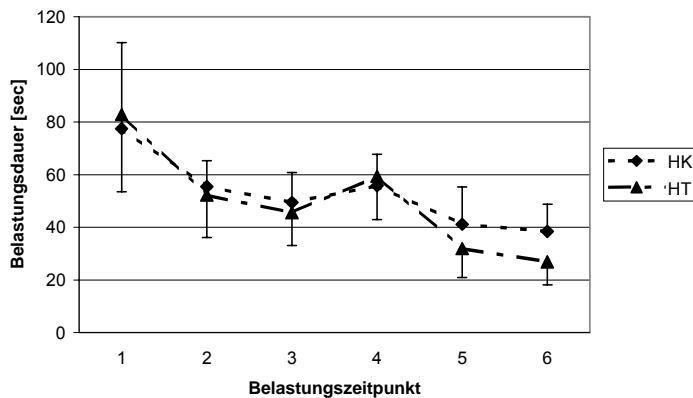


Abbildung 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungsdauern unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die Belastungszeitpunkte.

Kurzzeitausdauerbelastung
ermitteln.

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den Faktoren „Belastungsbedingung“ (vierfach gestuft) und „Wurfblock“ (sechsfach gestuft) zeigt für die Dauer der Wurfblöcke keine Unterschiede zwischen den vier Belastungsbedingungen ($F_{(2, 27)} = 0,364$; $\varepsilon = ,534$; $p_{\text{korr.}} = .655$).

Allerdings unterscheiden sich die

Wurfblöcke hinsichtlich ihrer Dauer voneinander ($F_{(5, 45)} = 4,627$; $\varepsilon = ,352$; $p_{\text{korr.}} = .030^*$; $f = 0,72$; vgl. Abbildung 18). A posteriori durchgeführte Einzelvergleiche für den Faktor „Wurfblock“ mit BONFERONI-Korrektur zeigen keine signifikanten Unterschiede auf dem 5%-Niveau, wobei der Unterschied von Wurfblock WB_{AN} zu Wurfblock WB_1 das adjustierte Signifikanzniveau nur marginal verfehlt ($p_{\text{korr.}} = .059$). Tendenziell wird allerdings über alle Belastungsbedingungen die Dauer, einen Wurfblock zu absolvieren, von Wurfblock WB_{AN} zu Wurfblock WB_{EH} geringer. Die Interaktion „Belastungsbedingung x Wurfblock“ wird statistisch nicht bedeutsam ($F_{(15, 135)} = 0,685$; $\varepsilon = ,214$; $p_{\text{korr.}} = .578$). Ein „Erholungsverhalten“ ist somit nicht feststellbar.

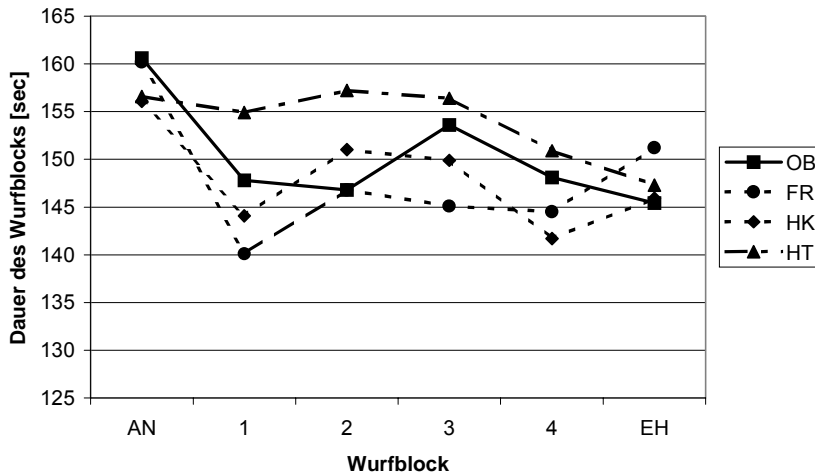


Abbildung 18: Mittelwerte der Wurfblockdauer unter den vier Belastungsbedingungen OB, FR, HK und HT über die sechs Wurfblöcke von WB_{AN} bis WB_{EH} .

3.4.2 Ergebnisse zum AZAN

3.4.2.1 Zur Baselinemessung und zum Ausgangsniveau

H_{FVF} 0.1 wird angenommen: Die absoluten FVF-Werte verändern sich nicht während der Baselinebestimmung ($F_{(2, 30)} = 0,180$; $p = .836$; vgl. Abbildung 19). Im Mittel liegen die FVF-Werte über die drei Messzeitpunkte zur Bestimmung der Baseline bei $\bar{x} = 30,64$ Hz ($s = 3,14$).

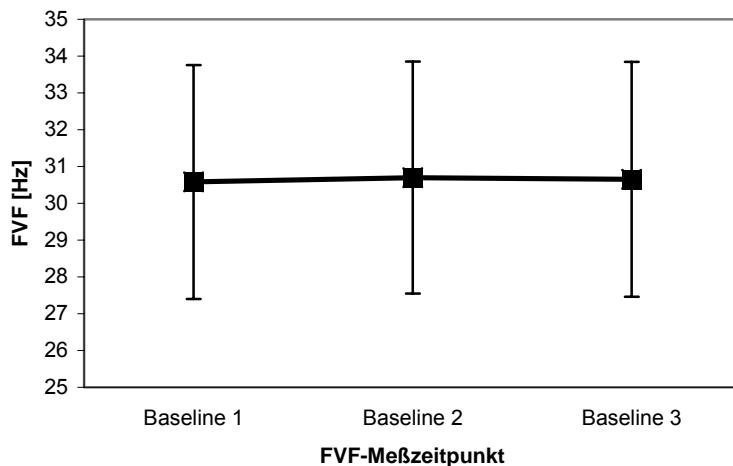


Abbildung 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der absoluten FVF-Werte der Baselinemessungen.

H_{FVF} 0.2a wird angenommen: Die dFVF-Werte unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF_1 zwischen den Belastungsbedingungen ($F_{(3, 45)} = 2,077$; $p = .117$; vgl. Abbildung 20).

H_{FVF} 0.2b wird abgelehnt: Die dFVF-Werte sind zum Messzeitpunkt FVF₁ von Null verschieden ($F_{(1, 15)} = 13,053$; $p = .003^{**}$; $f = 0,93$). Sie liegen über die Belastungsbedingungen hinweg im Mittel bei $\bar{x} = 0,79$ Hz ($s = 0,87$).

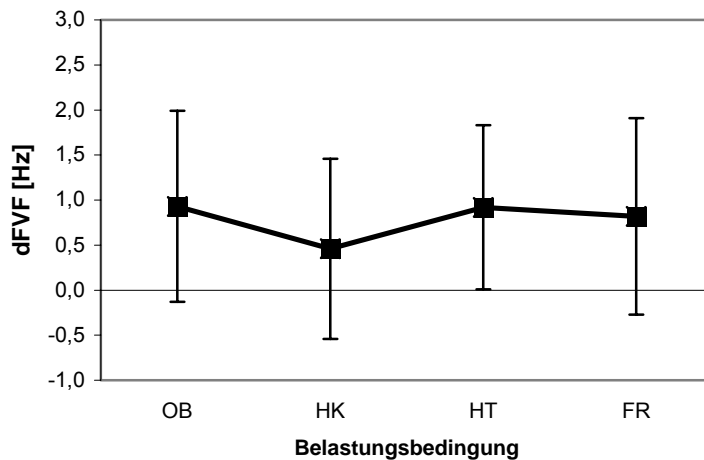


Abbildung 20: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte zum Messzeitpunkt Ausgangsniveau für die vier Stufen des Faktors „Belastungsbedingung“.

3.4.2.2 *Effekte von Zweck- und Wirkungsursache auf das AZAN*

Zunächst soll geprüft werden, wie sich die induzierten Belastungen und die motorische Aufgabe auf das AZAN auswirken. Die deskriptiven statistischen Kennwerte der dFVF zu den vier FVF-Messzeitpunkten zeigt Tabelle 17.

Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF über die vier FVF-Messzeitpunkte unter den vier Belastungsbedingungen.

	OB	FR	HK	HT
	$\bar{x} \pm s$ [Hz]	$\bar{x} \pm s$ [Hz]	$\bar{x} \pm s$ [Hz]	$\bar{x} \pm s$ [Hz]
FVF ₁	0,93 ± 1,06	0,82 ± 1,09	0,46 ± 1,00	0,92 ± 0,91
FVF ₂	0,69 ± 1,03	0,96 ± 1,05	0,44 ± 1,15	0,53 ± 1,03
FVF ₃	0,63 ± 1,02	1,11 ± 1,17	1,13 ± 1,49	0,76 ± 1,39
FVF ₄	0,65 ± 1,08	1,13 ± 0,96	0,71 ± 1,34	0,64 ± 1,18

H_{FVF} 1.1 wird abgelehnt: Die dFVF-Werte unter der Belastungsbedingung OB sind zum Messzeitpunkt FVF₁ von Null verschieden ($t_{(15)} = 3,515$; $p < .003^{**}$; $f = 1,24$; vgl. Tabelle 17 und Abbildung 21).

H_{FVF} 1.2 wird angenommen: Die dFVF-Werte verändern sich unter der Belastungsbedingung OB nicht vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ ($F_{(3, 45)} = 1,133$; $p = .346$; vgl. Tabelle 17 und Abbildung 21).

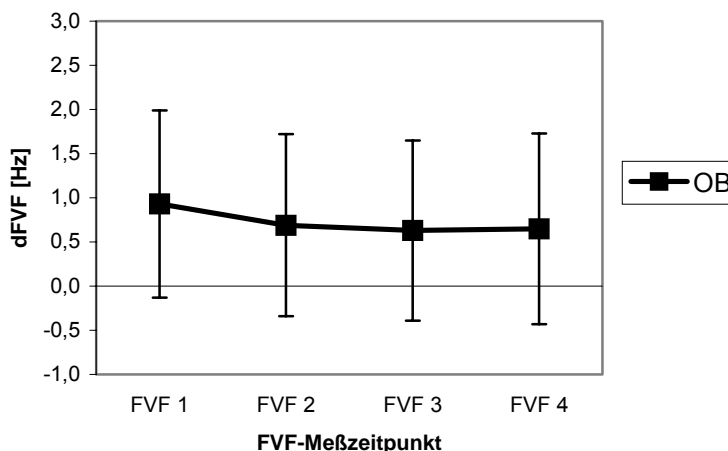


Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter der Belastungsbedingung OB über die vier FVF-Messzeitpunkte.

H_{FVF} 2.1 wird angenommen: Die dFVF-Werte unterscheiden sich unter den Belastungsbedingungen OB und FR nicht zum Messzeitpunkt FVF₁ ($t_{(15)} = 0,455$; $p = .655$; vgl. Tabelle 17 und Abbildung 22).

H_{FVF} 2.2 wird abgelehnt: Die dFVF-Werte verändern sich unter den Belastungsbedingungen OB und FR von Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt

FVF₄ nicht unterschiedlich ($F_{(3, 45)} = 2,000$; $p = .128$; vgl. Tabelle 17 und Abbildung 22). Auch die a priori formulierten Einzelvergleiche können nicht bestätigt werden: Weder zeigt sich unter der Belastungsbedingung FR ein Anstieg von Messzeitpunkt FVF₁ zu FVF₂ ($t_{(15)} = 0,919$; $p_{(eins.)} = .187$), noch ist ein Abfall von Messzeitpunkt FVF₃ zu FVF₄ zu konstatieren (ein t-Test erübrigt

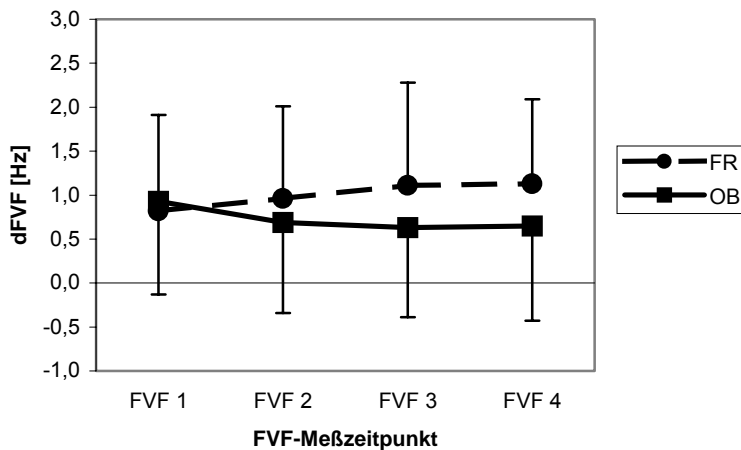


Abbildung 22: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und FR über die vier FVF-Messzeitpunkte.

sich an dieser Stelle, da die Richtung des tendenziellen Unterschieds der Mittelwerte nicht hypothesenkonform ist).

H_{FVF} 3.1 wird abgelehnt:

Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen

OB und HK unterscheiden sich zum Messzeitpunkt

FVF₁ ($t_{(15)} = 2,220$; $p =$

$.042^*$; $f = 0,75$; vgl. Tabelle

17 und Abbildung 23).

Unter der

Belastungsbedingung HK ist die dFVF zum Messzeitpunkt FVF₁ gegenüber der unbelasteten Bedingung OB um 0,47 Hz reduziert. A posteriori wurde ein one-sample t-Test durchgeführt, der zeigt, dass sich der Mittelwert unter der Bedingung HK signifikant von Null unterscheidet. ($t_{(15)} = 1,848$; $p_{(\text{eins.})} = .042^*$; $f = 0,65$).

H_{FVF} 3.2 wird abgelehnt:

Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HK

verändern sich vom

Messzeitpunkt FVF₁ zum

Messzeitpunkt FVF₄

unterschiedlich ($F_{(3, 45)} =$

$3,485$; $p = .023^*$; $f = 0,48$).

Da jedoch Hypothese H_{FVF}

3.1 abgelehnt werden

musste, d.h. bereits zum

Messzeitpunkt FVF₁ ein

Unterschied zwischen den

beiden Bedingungen

besteht, wurde a posteriori

zur Stützung der

Interpretation eine

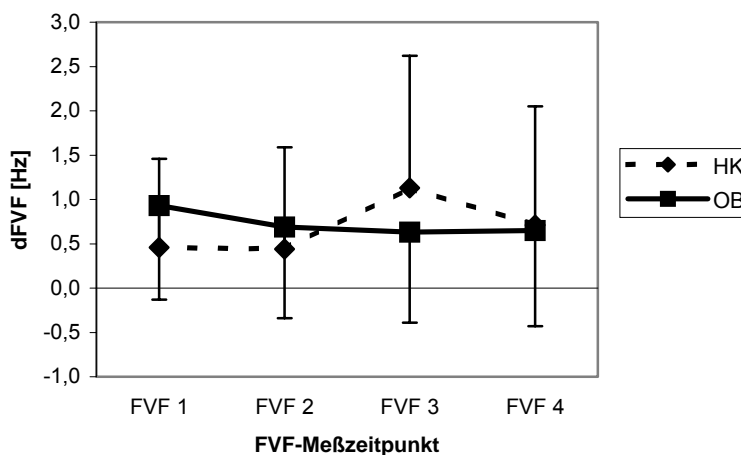


Abbildung 23: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HK über die vier FVF-Messzeitpunkte.

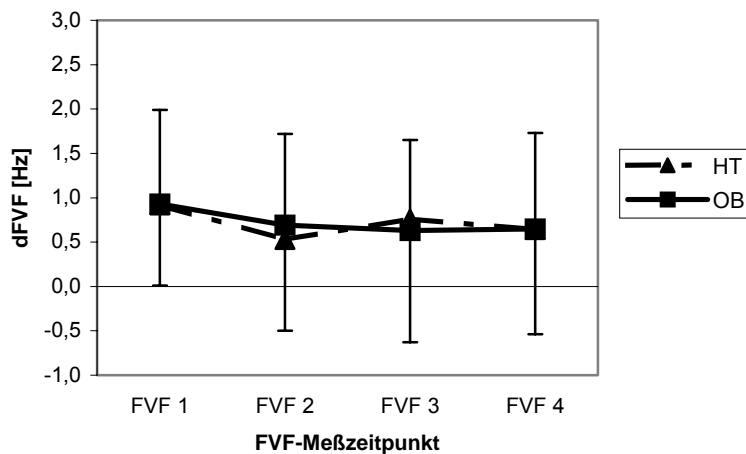


Abbildung 24: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HT über die vier FVF-Messzeitpunkte.

Kovarianzanalyse über die Messzeitpunkte FVF₂ bis FVF₄ mit der Differenz der dFVF-Werte zwischen den Bedingungen OB und HK zu FVF₁ als Kovariate gerechnet. Bei dieser wird nach Herauspartialisieren des Vortest-Unterschiedes weder die Interaktion „Belastungsbedingung x Messzeitpunkt“ ($F_{(2, 28)} = 1,641$; $p = .212$) noch der Haupteffekt „Belastungsbedingung“

signifikant ($F_{(1, 14)} = 1,996$; $p = .180$).

H_{FVF} 4.1 wird angenommen: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HT unterscheiden sich nicht zum Messzeitpunkt FVF₁ ($t_{(15)} = 0,063$; $p = .951$; vgl. Tabelle 17 und Abbildung 24).

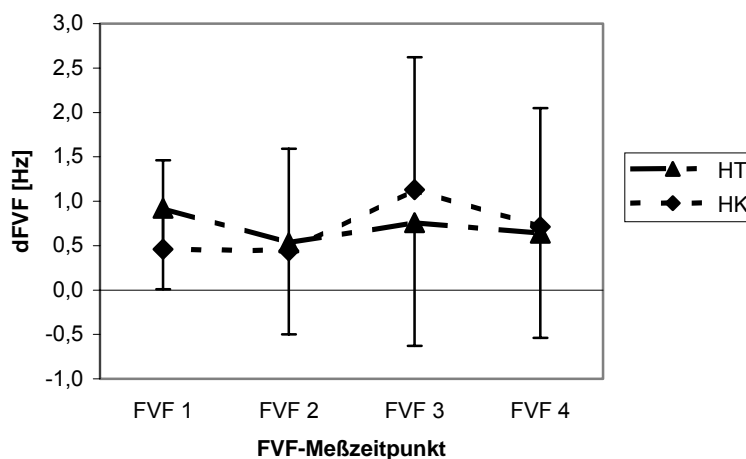


Abbildung 25: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die vier FVF-Messzeitpunkte.

H_{FVF} 4.2 wird angenommen: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen OB und HT verändern sich vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ nicht unterschiedlich ($F_{(3, 45)} = 0,353$; $p = .787$).

H_{FVF} 5.1 wird abgelehnt: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen HK und HT unterscheiden

sich zum Messzeitpunkt FVF₁ auf dem 10%-Niveau signifikant ($t_{(15)} = 1,994$; $p = .065$; $f = 0,66$; vgl. Tabelle 17 und Abbildung 25).

H_{FVF} 5.2 wird abgelehnt: Die dFVF-Werte unter den Belastungsbedingungen HK und HT verändern sich vom Messzeitpunkt FVF₁ zum Messzeitpunkt FVF₄ unterschiedlich ($F_{(3, 45)} = 3,416$; $p = .036^*$; $f = 0,48$). Da jedoch Hypothese H_{FVF} 5.1 abgelehnt werden musste, d.h. bereits zum Messzeitpunkt FVF₁ ein Unterschied zwischen den beiden Bedingungen besteht, wurde auch in diesem Fall a posteriori eine Kovarianzanalyse über die Messzeitpunkte FVF₂ bis FVF₄ mit der Differenz der dFVF-Werte zwischen den Bedingungen HK und HT zu FVF₁ als Kovariate gerechnet. Bei dieser wird nach Herauspartialisieren des Vortest-Unterschiedes weder die Interaktion „Belastungsbedingung x Messzeitpunkt“ ($F_{(2, 28)} = 0,786$; $\epsilon = 0,731$; $p = .432$) noch der Haupteffekt „Belastungsbedingung“ signifikant ($F_{(1, 14)} = 1,416$; $p = .254$).

3.4.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation

Die vorab formulierte Hypothese H_{FVF} 1.1 wurde nicht bestätigt. Die dFVF ist unter Belastungsbedingung OB größer Null, d.h. in unbelastetem Zustand es ist ein Anstieg gegenüber der FVF-Baseline zu verzeichnen. H_{FVF} 1.2 konnte jedoch bestätigt werden. Die dFVF verändert sich nicht über die Messzeitpunkte. Die Erhöhung der FVF zum Messzeitpunkt FVF₁ kann im Sinne einer Feedforward-Regelung des AZAN in Erwartung der motorischen Aufgabe interpretiert werden, stellt somit eine Zweckursache dar. Die Nicht-Veränderung über die Messzeitpunkte war erwartet.

H_{FVF} 2.1 konnte bestätigt werden. Für die Belastungsbedingung „Fahrrad“ kann bzgl. der dFVF zum Messzeitpunkt FVF₁ kein Unterschied zur unbelasteten Bedingung festgestellt werden. H_{FVF} 2.2 konnte jedoch nicht bestätigt werden. Die zur Erhöhung des AZAN induzierte Fahrradbelastung führte nicht zum gewünschten Effekt, der Erhöhung des AZAN gegenüber der unbelasteten Bedingung. Vielmehr verändern sich die dFVF-Werte unter den beiden Belastungsbedingungen über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₄ nicht unterschiedlich. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, dass der zum Messzeitpunkt FVF₁ gefundene und im Sinne einer Feedforward-Regelung interpretierte FVF-Anstieg bereits einen Aktivierungsprozess abbildet, der durch die Fahrradbelastung nicht weiter gesteigert werden kann.

H_{FVF} 3.1 wurde abgelehnt: Zum Messzeitpunkt FVF₁ ist ein Unterschied der dFVF zwischen der Belastungsbedingung „Handkurbel“ und unbelasteter Bedingung festzustellen: Zwar ist die dFVF unter der Bedingung HK geringer, aber dennoch größer als Null, d.h. auch unter dieser Bedingung liegt zum Messzeitpunkt FVF₁ bereits eine höhere FVF bezogen auf die Baseline

vor. Plausible theoretische Annahmen über dieses gegenüber unbelasteter Bedingung verringerte AZAN existieren nicht. Ich ziehe daher in Betracht, dass es sich möglicherweise um einen unsystematischen Effekt handelt. Weitere Experimente sollten daher prüfen, ob dieser Befund repliziert werden kann. Wider Erwarten zeigt sich ebenso eine unterschiedliche Veränderung zwischen beiden Belastungsbedingungen von FVF₁ bis FVF₄, sodass H_{FVF} 3.2 nicht bestätigt werden konnte. Da jedoch mit Ablehnung der H_{FVF} 3.1 bereits ein Unterschied zum Ausgangsniveau vorhanden ist, wurde a posteriori zur Stützung der Interpretation eine Kovarianzanalyse gerechnet. Hier zeigte sich weder ein Interaktionseffekt, noch ein Haupteffekt „Belastungsbedingung“. Dies bedeutet, dass im weiteren Verlauf die induzierte Handkurbelbelastung nicht zu weiteren Effekten auf das AZAN führt. Die der statistischen Hypothese zugrundeliegende theoretisch-inhaltliche Hypothese (vgl. dazu HUSSY/MÖLLER 1994), dass die Handkurbelbelastung in der gewählten Belastungsstruktur nicht auch zu Effekten auf das AZAN führt, sehe ich damit für diese Untersuchung als bewährt an.

H_{FVF} 4.1 und H_{FVF} 4.2 konnten beide bestätigt werden. Für die Belastungsbedingung „Hantel“ zeigt sich zum Messzeitpunkt FVF₁ kein Unterschied zur unbelasteten Bedingung. Die Hantelbelastung, die neuromuskuläre Beanspruchungen induziert, führt in der gewählten Struktur nicht zu zusätzlichen Effekten auf die FVF im Sinne einer Wirkungsursache.

H_{FVF} 5.1 und H_{FVF} 5.2 konnten nicht bestätigt werden: Zum Messzeitpunkt FVF₁ ist die dFVF unter Belastungsbedingung „Hantel“ höher als unter der Bedingung „Handkurbel“. Zudem verändert sich die dFVF über die Messzeitpunkte unter diesen beiden Bedingungen ebenfalls unterschiedlich. Allerdings muss auch in diesem Falle der mit Ablehnung der Hypothese H_{FVF} 5.1 vorhandene Unterschied im Ausgangsniveau berücksichtigt werden, was mit Anwendung einer Kovarianzanalyse Berücksichtigung fand. Demnach kann die theoretisch-inhaltliche Hypothese, dass Handkurbel- und Hantelbelastung in der gewählten Struktur sich in ihren Effekten auf das AZAN nicht unterscheiden, auch an dieser Stelle als bewährt angesehen werden.

Es kann zusammenfassend festgehalten werden:

- Es ist eine Erhöhung des AZAN zum Messzeitpunkt FVF₁ festzustellen, die im Sinne einer Feedforward-Regelung in Erwartung der motorischen Aufgabe interpretiert wird. Die Stützung dieser Interpretation bedarf aber zusätzlicher Experimente. Eine weitere Veränderung des AZAN über die FVF-Messzeitpunkte ist nicht festzustellen.

- Die Fahrradbelastung führt wider Erwarten nicht zu einer belastungsbedingten Steigerung des AZAN.
- Handkurbel- und Hantelbelastung, die beide neuromuskuläre Effekte hervorrufen, haben in der gewählten Belastungsstruktur keinen Einfluss auf das AZAN.

3.4.3 Ergebnisse zur Trefferleistung

3.4.3.1 Aneignungsphase

H_L 0.1a wird angenommen: Die Trefferleistung verbessert sich von WB_{A1} zu WB_{A8}. Über die Aneignungsphase von Wurfblock WB_{A1} bis WB_{A8} kann eine Verbesserung der Trefferleistung um 5,43 cm ($\pm 9,40$ cm) festgestellt werden.

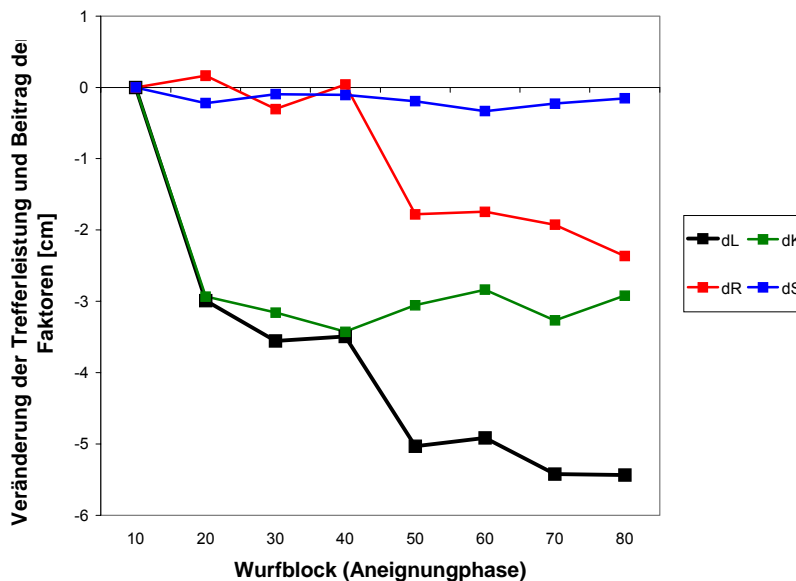


Abbildung 26: Mittelwerte der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren über die acht Wurfblöcke der Aneignungsphase.

H_L 0.1b wird abgelehnt: Nicht alle Faktoren der Veränderung der Trefferleistung leisten einen Beitrag zur Verbesserung der Trefferleistung von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A8}. Die Leistungsverbesserung ist hauptsächlich auf eine signifikant bessere Nutzung des Faktors

„Rauschreduktion“ zurückzuführen, der einen Beitrag von 2,36 cm ($\pm 1,86$) an der Leistungsverbesserung einbringt. Der Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ zeigt einen positiven Beitrag an der Veränderung der Trefferleistung, verfehlt die gesetzte Signifikanzschranke jedoch marginal. Der Faktor „Stabilität“ zeigt von WB_{A1} bis WB_{A2} keinen signifikanten Beitrag an der Veränderung der Trefferleistung (vgl. Tabelle 18 und Abbildung 26).

Tabelle 18: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren von Block WB_{A1} zu Block WB_{A8}.

	$\bar{x} \pm s$ [cm]	$t_{(15)}$	$p_{(eins.)}$	f
d _{Leistung}	-5,43 ± 9,40	-2,311	.018*	0,82
d _{Kova}	-2,92 ± 8,47	-1,378	.094	0,49
d _{Rauschen}	-2,36 ± 1,86	-5,071	.000***	1,79
d _{Stabi}	-0,15 ± 1,16	-0,524	.304	

Eine Betrachtung der serienbezogenen Parameter stützt diese Befunde (vgl. Tabelle 19 und Abbildung 27). An dieser Stelle sei noch einmal angemerkt, dass die Darstellung der Veränderung serienbezogener Parameter lediglich

beschreibenden Charakter hat, die angegebenen Wahrscheinlichkeits-Werte somit keinen hypothesenprüfenden Charakter besitzen. Da bei einigen Parametern allerdings eine gerichtete Annahme über die Veränderung im Verlaufe der Übungsserien plausibel ist, wird der einseitige Wahrscheinlichkeits-Wert an entsprechender Stelle angegeben.

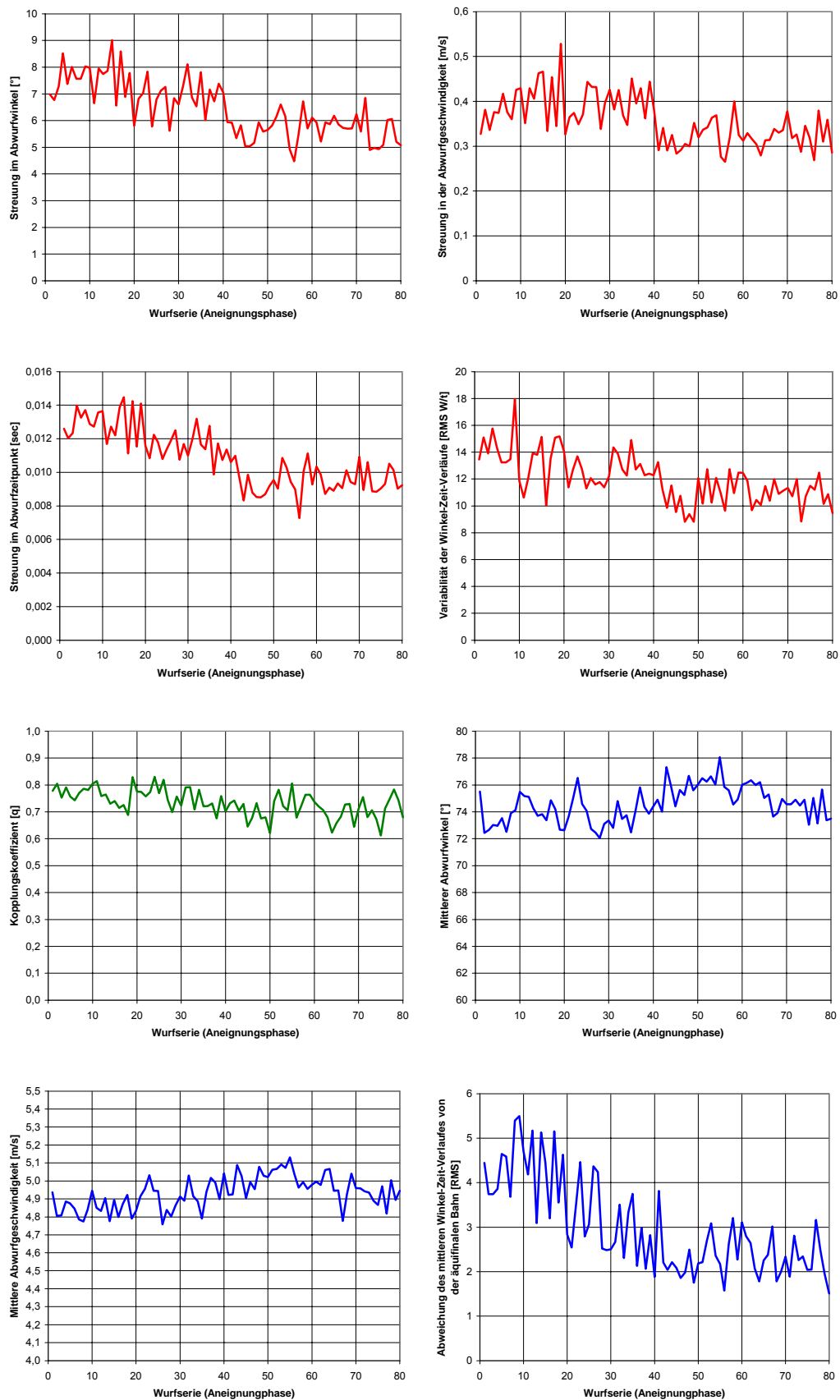


Abbildung 27: Mittelwerte der serienbezogenen Parameter über die 80 Wurfserien der Aneignungsphase.

Tabelle 19: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter von WB_{A1} zu WB_{A8}.

	WB _{A1} ($\bar{x} \pm s$)	WB _{A8} ($\bar{x} \pm s$)	t ₍₁₅₎	p	f
$s_{-\alpha_0}$ [°]	7,64 ± 2,18	5,47 ± 1,85	4,681	.000*** ⁺	1,67
s_{-v_0} [m/s]	0,38 ± 0,13	0,32 ± 0,10	2,691	.009** ⁺	0,99
s_{-t_0} [msec]	13,11 ± 3,35	9,45 ± 2,99	5,313	.000*** ⁺	1,86
RMS _{W/t}	14,27 ± 3,45	10,79 ± 2,14	3,932	.001** ⁺	1,42
q	0,78 ± 0,10	0,71 ± 0,10	2,018	.031* ⁺	0,71
$\bar{\alpha}_0$ [°]	73,61 ± 4,92	74,26 ± 3,82	0,574	.574	
\bar{v}_0 [m/s]	4,85 ± 0,31	4,92 ± 0,24	0,906	.380	
RMS _{Aequi}	4,45 ± 3,38	2,25 ± 1,34	3,282	.003** ⁺	1,48

⁺: Einseitiger Test

Die Streuung in Abwurfwinkel, Abwurfgeschwindigkeit und Abwurfzeitpunkt, sowie die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe wird im Verlaufe der 80 Wurfserien der Aneignungsphase

geringer, d.h. das Rauschen in den entsprechenden Größen wird reduziert. Der Kopplungskoeffizient q verringert sich ebenfalls über die Serien der Aneignungsphase. Für den mittleren Abwurfwinkel und die mittlere Abwurfgeschwindigkeit kann keine signifikante Veränderung von Block WB_{A1} zu Block WB_{A8} der Aneignungsphase festgestellt werden. Für die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufes von der äquifinalen Bahn zeigt sich jedoch, dass diese im Verlaufe der Übungsphase geringer wird (vgl. zu diesen Befunden Tabelle 19 und Abbildung 27).

3.4.3.2 Belastungsbedingung „Ohne Belastung“ (OB)

Hinsichtlich der serienbezogenen Parameter, die zur ergänzenden Interpretation herangezogen werden, verändert sich unter dieser Belastungsbedingung über die Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus kein serienbezogener Parameter ($.612 \geq p \geq .161$). In die Auswertung dieser Daten gehen die Werte von 14 Vpn (ohne Vp 8 und Vp 19)³¹ ein. Für die weiteren Berechnungen können die Daten aller Probanden herangezogen (n = 16).

3.4.3.2.1 Veränderung vom Ausgangsniveau zum ersten Wurfserienblock nach Belastung

H_L 1.1 wird abgelehnt: Die relative Trefferleistung ist unter der Belastungsbedingung OB im Wurfserienblock WSB_{1/2} von Null verschieden. Vom Wurfblock WB_{AN} zum ersten

³¹ Für diese beiden Vpn lagen aufgrund technischer Probleme nicht zu allen Messzeitpunkten des Ausgangsniveaus Daten vor.

Wurfserienblock nach dem Treatment ($WSB_{1/2}$) zeigt sich eine signifikante Verschlechterung der Trefferleistung um 1,94 cm (vgl. Tabelle 20 und Abbildung 28 oben).

Tabelle 20: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB von WB_{AN} zu $WSB_{1/2}$.

	$\bar{x} \pm s$ [cm]	$t_{(15)}$	p	f
d_{Leistung}	$1,94 \pm 1,78$	4,361	.001**	1,54
d_{Kova}	$1,79 \pm 2,27$	3,152	.007**	1,11
d_{Rauschen}	$-0,08 \pm 2,51$	0,127	.901	
d_{Stabi}	$0,23 \pm 0,61$	1,506	.153	

Diese Verschlechterung ist hauptsächlich auf eine verminderte Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ zurückzuführen, der einen signifikanten Beitrag von 1,79 cm an der Verschlechterung der Trefferleistung aufweist. Die anderen wurfrelevanten

Faktoren, „Rauschreduktion“ und „Stabilität“, leisten keinen statistisch bedeutsamen Beitrag an der Veränderung der Trefferleistung (vgl. Tabelle 20 und Abbildung 28 unten).

Tabelle 21: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter der Belastungsbedingung OB für das Ausgangsniveau (gemittelt über die zehn Wurfserien) und die erste Nachbelastungsreihe (jeweils gemittelt über die vier Wurfblöcke im Anschluss an ein Belastungstreatment).

	$WS_{AN} (\bar{x} \pm s)$	$WS_{S1} (\bar{x} \pm s)$	$t_{(15)}$	p	f
s_{α_0} [°]	$4,80 \pm 1,33$	$4,52 \pm 1,18$	0,720	.483	
s_{v_0} [m/s]	$0,28 \pm 0,09$	$0,30 \pm 0,12$	0,548	.592	
s_{t_0} [msec]	$8,05 \pm 2,01$	$7,87 \pm 1,93$	0,359	.725	
$RMS_{W/t}$	$9,98 \pm 1,88$	$10,80 \pm 2,48$	1,312	.209	
q	$0,62 \pm 0,09$	$0,68 \pm 0,12$	3,013	.009**	1,14
$\bar{\alpha}_0$ [°]	$76,42 \pm 3,79$	$76,56 \pm 4,05$	0,172	.866	
\bar{v}_0 [m/s]	$5,06 \pm 0,29$	$5,12 \pm 0,33$	0,864	.401	
RMS_{Aequi}	$1,81 \pm 1,01$	$1,80 \pm 1,39$	0,022	.983	

Ein Vergleich des Ausgangsniveaus mit der ersten Serie nach dem Treatment hinsichtlich der serienbezogenen Parameter stützt diese Befunde. Weder die Parameter der Stabilität, noch die Parameter des Rauschens zeigen

signifikante Veränderungen, wohl aber der Kopplungskoeffizient q, der in der ersten Serie nach dem „Treatment“ erhöht ist (vgl. Tabelle 21).

3.4.3.2.2 Veränderung über die Wurfserienblöcke nach Belastung

H_L 1.2 wird abgelehnt: Die relative Trefferleistung verändert sich unter der Belastungsbedingung OB über die Wurfserienblöcke von $WSB_{1/2}$ zu $WSB_{9/10}$.

Tabelle 22: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB über die Wurfserienblöcke nach dem Belastungstreatment.

	$F_{(4, 60)}$	ε	p	f
d_{Leistung}	7,944	-	.000***	0,73
d_{Kova}	8,162	-	.000***	0,74
d_{Rauschen}	1,832	,513	.176	
d_{Stabi}	1,945	-	.115	

andere Wurfserienblöcke signifikant unterscheidet (vgl. Tabelle 23). Weitere signifikante Unterschiede zwischen den Wurfserienblöcken existieren nicht.

Diese geht mit einer signifikanten Veränderung des Beitrages des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ einher (vgl. Tabelle 22 und Abbildung 28 oben und unten). A posteriori durchgeführte Einzelvergleiche mit BONFERONI-Korrektur zeigen, dass sich die Veränderung der Trefferleistung zum Wurfserienblock $WSB_{1/2}$ gegenüber der Veränderung zu allen

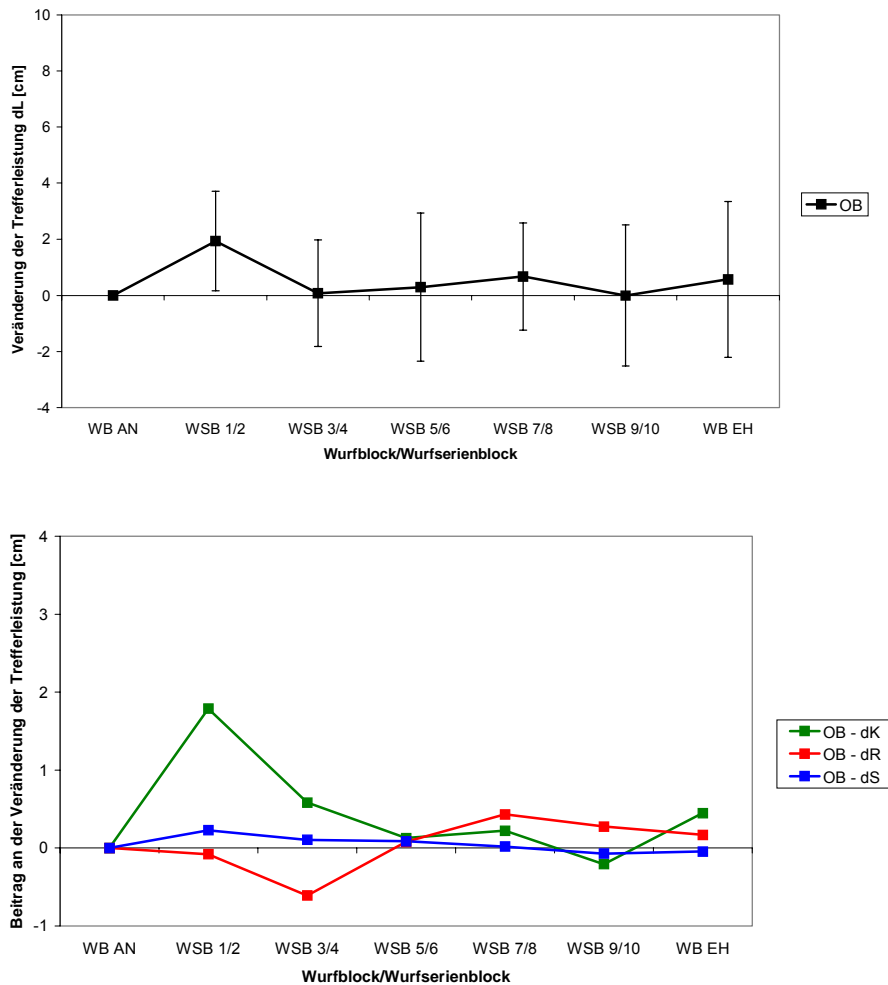


Abbildung 28: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB von WB_{AN} zu WB_{EH} .

Tabelle 23: Mittelwertsdifferenzen für die Veränderung der Trefferleistung über die Wurfserienblöcke nach dem Treatment (*: $p < .05$, **: $p < .01$, ***: $p < .001$; Korrektur nach BONFERONI).

	WSB _{1/2}	WSB _{3/4}	WSB _{5/6}	WSB _{7/8}	WSB _{9/10}
WSB _{1/2}					
WSB _{3/4}	1,86***				
WSB _{5/6}	1,64*	-0,22			
WSB _{7/8}	1,27*	-0,60	-0,38		
WSB _{9/10}	1,94**	0,08	0,30	0,68	

Tabelle 24: Mittelwertsdifferenzen für die Veränderung des Beitrags des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ über die Wurfserienblöcke nach dem Treatment (+: $p < .10$; *: $p < .05$, **: $p < .01$; Korrektur nach BONFERONI).

	WSB _{1/2}	WSB _{3/4}	WSB _{5/6}	WSB _{7/8}	WSB _{9/10}
WSB _{1/2}					
WSB _{3/4}	1,21 ⁺				
WSB _{5/6}	1,67*	0,46			
WSB _{7/8}	1,57*	0,36	-0,09		
WSB _{9/10}	2,00**	0,79	0,34	0,43	

A posteriori Einzelvergleiche für den Faktor „Aufgabendienliche

Kovariation“ bringen tendenziell die gleichen Ergebnisse (vgl. Tabelle 24). Zwar unterscheidet sich WSB_{1/2} von WSB_{3/4} lediglich

auf dem 10%-Niveau, jedoch liegt der Unterschied zu den anderen

Wurfserienblöcken

unterhalb der 5%-Schranke. Die

Verminderung der Trefferleistung über die Wurfserienblöcke nach

dem Treatment ist daher vorrangig auf eine verminderte Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ zurückzuführen.

Für die serienbezogenen Parameter (vgl. Tabelle 25 und Abbildung 29) zeigt sich sowohl für die Streuung im Abwurfzeitpunkt, als auch für die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe, eine signifikante Veränderung über die Nachbelastungsserien. A posteriori durchgeführte

Einzelvergleiche mit BONFERONI-Korrektur verfehlen für beide abhängigen Variablen das adjustierte Signifikanzniveau.

Tabelle 25: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter der Belastungsbedingung OB über die zehn Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

	$F_{(9, 135)}$	ε	p bzw. $p_{\text{korr.}}$	f
s_{α_0}	1,469	,554	.210	
s_{v_0}	0,607	,499	.677	
s_{t_0}	2,431	,510	.048*	0,40
$RMS_{W/t}$	2,510	,580	.035*	0,41
q	1,235	,656	.297	
$\bar{\alpha}_0$	1,495	,392	.222	
\bar{v}_0	2,001	,354	.123	
RMS_{Aequi}	0,541	,521	.734	

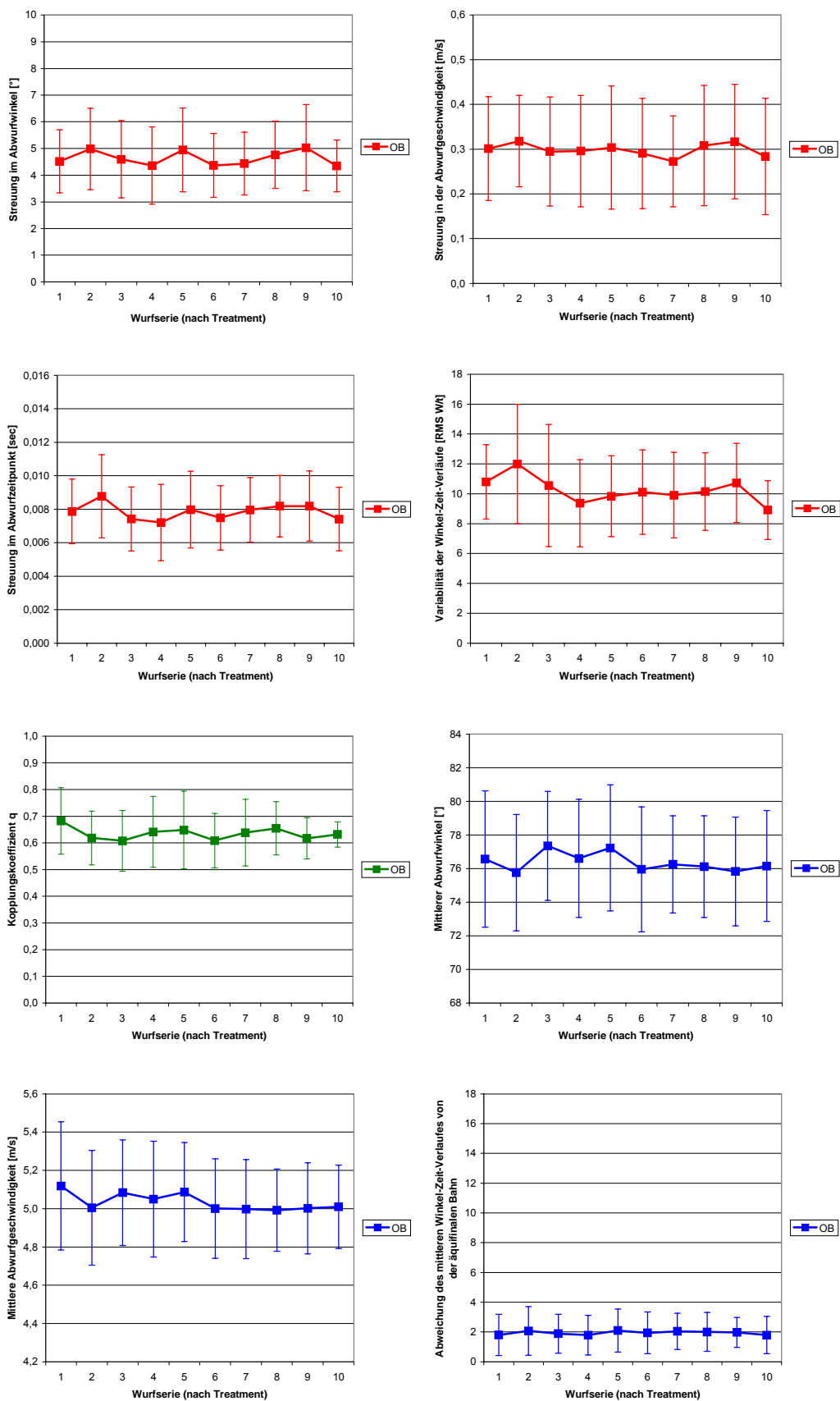


Abbildung 29: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter der Belastungsbedingung OB über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

3.4.3.2.3 Erholungspause

H_L 1.3 wird angenommen: Die relative Trefferleistung ist unter der Belastungsbedingung OB im Wurfblock WB_{EH} nicht von Null verschieden.

Nach der zehnminütigen Pause, die dem letzten Belastungstreatment folgt, zeigt sich weder für die Trefferleistung noch für die Beiträge der wurfrelevanten Faktoren eine Veränderung gegenüber dem Wurfblock WB_{AN} (vgl. Tabelle 26 und Abbildung 28).

Tabelle 26: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingung OB von WB_{AN} zu WB_{EH}.

	$\bar{x} \pm s$ [cm]	$t_{(15)}$	p
d _{Leistung}	0,57 ± 2,77	0,823	.424
d _{Kova}	0,45 ± 2,74	0,655	.522
d _{Rauschen}	0,17 ± 2,12	0,317	.756
d _{Stabi}	-0,05 ± 0,88	0,209	.837

Ebenso kann hinsichtlich der serienbezogenen Parameter festgestellt werden, dass sich unter der Belastungsbedingung OB kein serienbezogener Parameter zum Messzeitpunkt „Erholung“ gegenüber dem Messzeitpunkt „Ausgangsniveau“ unterscheidet ($.678 \geq p \geq .244$).

3.4.3.2.4 Zusammenfassung und Interpretation

Sowohl H_L 1.1 als auch H_L 1.2 mussten abgelehnt werden: Es zeigte sich zu Wurfserienblock WSB_{1/2} für die unbelastete Bedingungen eine gegenüber dem Ausgangsniveau verminderte Trefferleistung und eine Veränderung über die folgenden Wurfserienblöcke bis zu WSB_{9/10}. A posteriori durchgeführte Einzelvergleiche spezifizierten, dass dies lediglich auf die Veränderung zum Wurfserienblock WSB_{1/2} zurückzuführen war. Der erhöhte Kopplungskoeffizient q in der ersten Nachbelastungsserie stützt diesen Befund. Von den serienbezogenen Parametern zeigen die Streuung im Abwurfzeitpunkt und die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe Veränderungen über die Wurfserien nach Belastung, was sich jedoch nicht in einer veränderten Trefferleistung niederschlägt. H_L 1.3 konnte bestätigt werden: zehn Minuten nach dem letzten Wurfserienblock WSB_{9/10} ist die Trefferleistung gegenüber dem Wurfblock „Ausgangsniveau“ (WB_{AN}) unverändert. Dies gilt ebenso für alle serienbezogenen Parameter.

Die verminderte Trefferleistung zu den ersten beiden Nachbelastungsserien steht in guter Übereinstimmung mit den Befunden von KOZAR/VAUGHN/LORD/WHITFIELD (1995), die zeigen, dass innerhalb von Freiwurfserien im Basketball (zwischen 6 und 14 Würf pro Serie), die Trefferhäufigkeit der ersten beiden Würfe gegenüber den folgenden reduziert ist. Betrachtet man die kurze Pause zwischen den letzten Würf der vorhergehenden Serie, so passt dieser

Befund sehr gut zu Aussagen von Probanden aus einer Untersuchung von KOHL (1956; zitiert nach FIEDLER 1963), die bestätigen, dass sie bei den Würfeln über größere Sicherheit verfügten, „wenn die Spur des vorausgegangenen Wurfes noch frisch war“ (FIEDLER 1963, 52; vgl. auch FIEDLER 1967, 1068).

3.4.3.3 Belastungsbedingung „Fahrrad“ (FR)

In die Auswertung der serienbezogenen Parameter über die Serien zur Feststellung des Ausgangsniveaus gehen die Daten von 12 Vpn ein (ohne Vp 4, Vp 8, Vp 15, Vp 19). Für die weiteren Berechnungen können alle Vpn herangezogen werden.

Über die zehn Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus zeigt sich zwischen den beiden Belastungsbedingungen OB und FR lediglich ein Unterschied auf dem 10%-Signifikanzniveau ($p = .055$) hinsichtlich der abhängigen Variablen Kopplungskoeffizient q . Tendenziell ist unter der Belastungsbedingung FR der Kopplungskoeffizient q höher als unter der Belastungsbedingung OB. Sonstige Unterschiede zwischen den Gruppen werden nicht signifikant ($.995 \geq p \geq .123$). Ebenso wenig werden Interaktionseffekte signifikant ($.938 \geq p \geq .227$). Insgesamt kann daher von einer recht guten Übereinstimmung unter beiden Bedingungen ausgegangen werden.

3.4.3.3.1 Veränderung vom Ausgangsniveau zum ersten Wurfserienblock nach Belastung

H_L 2.1 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR unterscheiden sich nicht im Wurfserienblock WSB_{1/2}.

Unter der Belastungsbedingung FR ist die Trefferleistung gegenüber dem Wurfblock „Ausgangsniveau“ WB_{AN} um 2,00 cm reduziert. Auch für die Beiträge der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung ist kein Unterschied zwischen den beiden

Belastungsbedingungen festzustellen (vgl. Tabelle 27 und Abbildung 30 oben und unten).

Tabelle 27: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WB_{AN} zu WSB_{1/2}.

	OB ($\bar{x} \pm s$ [cm])	FR ($\bar{x} \pm s$ [cm])	$t_{(15)}$	p
d _{Leistung}	1,94 ± 1,78	2,00 ± 1,90	0,089	.930
d _{Kova}	1,79 ± 2,27	0,67 ± 2,17	1,518	.150
d _{Rauschen}	-0,08 ± 2,51	0,92 ± 1,23	1,267	.224
d _{Stabi}	0,23 ± 0,61	0,41 ± 0,58	0,866	.400

Für die serienbezogenen Parameter zeigt sich, dass die Streuung im Abwurfwinkel in der ersten Nachbelastungsserie unter der Belastungsbedingung FR erhöht ist. Dieser Befund gilt tendenziell auch für den Abwurfzeitpunkt. Da sich für den Kopplungskoeffizienten q unter der Belastungsbedingung OB bereits eine signifikante Erhöhung vom Ausgangsniveau zur ersten Nachbelastungsserie zeigte (vgl. Kapitel B3.4.3.2.1) und sich die Belastungsbedingungen OB und FR im Ausgangsniveau bereits unterschieden (vgl. B3.4.3.3), wurden, um Interpretationsprobleme zu vermeiden, die Veränderungen vom Ausgangsniveau zu ersten Nachbelastungsserie zusätzlich varianzanalytisch überprüft. Der Interaktionseffekt wird jedoch

Tabelle 28: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und FR in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.

	OB ($\bar{x} \pm s$)	FR ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(15)}$	p	f
$s_{-\alpha_0}$ [°]	4,52 ± 1,18	5,57 ± 2,24	2,199	.044*	0,85
$s_{-\nu_0}$ [m/s]	0,30 ± 0,12	0,36 ± 0,18	1,557	.140	
s_{-t_0} [msec]	7,87 ± 1,93	9,28 ± 3,18	1,884	.079	0,69
RMS _{W/t}	10,80 ± 2,48	11,89 ± 4,08	0,959	.353	
q	0,68 ± 0,12	0,69 ± 0,11	0,323	.751	
$\bar{\alpha}_0$ [°]	76,56 ± 4,05	74,37 ± 3,91	1,995	.065	0,71
$\bar{\nu}_0$ [m/s]	5,12 ± 0,33	5,00 ± 0,35	1,807	.091	0,64
RMS _{Aequi}	1,80 ± 1,39	2,20 ± 1,83	1,036	.317	

nicht signifikant ($F_{(1, 15)} = 0,882$; $p = .363$). Hingegen aber der Haupteffekt „Testzeitpunkt“ ($F_{(1, 15)} = 7,044$; $p = .018^*$; $f = 0,69$). Der Kopplungskoeffizient ist unter beiden

Bedingungen in der ersten Nachbelastungsserie erhöht. Von den serienbezogenen Parametern der Stabilität kann sowohl für den mittleren Abwurfwinkel als auch für die mittlere Abwurfgeschwindigkeit ein Unterschied auf dem 10%-Niveau festgestellt werden. Beide sind unter der Bedingung FR vermindert.

3.4.3.3.2 Veränderung über die Wurfserienblöcke nach Belastung

H_L 2.2 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR unterscheiden sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} nicht und sie verändern sich nicht unterschiedlich (vgl. Tabelle 29 und Abbildung 30 oben).

Tabelle 29: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10}.

	HE Belastung		IA Belastung x Serie			
	F _(1, 15)	p	F _(4, 60)	ε	p bzw. p _{korr.}	f
d _{Leistung}	0,142	.712	0,316	,730	.808	
d _{Kova}	0,106	.749	2,184	-	.082	0,38
d _{Rauschen}	0,168	.687	2,442	-	.056	0,40
d _{Stabi}	1,425	.251	1,923	,689	.145	

Bzgl. der Faktoren-Beiträge zeigen sich ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Bedingungen. Die Interaktionen der Beiträge der Faktoren „Aufgabendienliche Kovariation“ und „Rauschen“

verfehlen die 5%-Schranke jeweils (vgl. Tabelle 29 und Abbildung 30 unten).

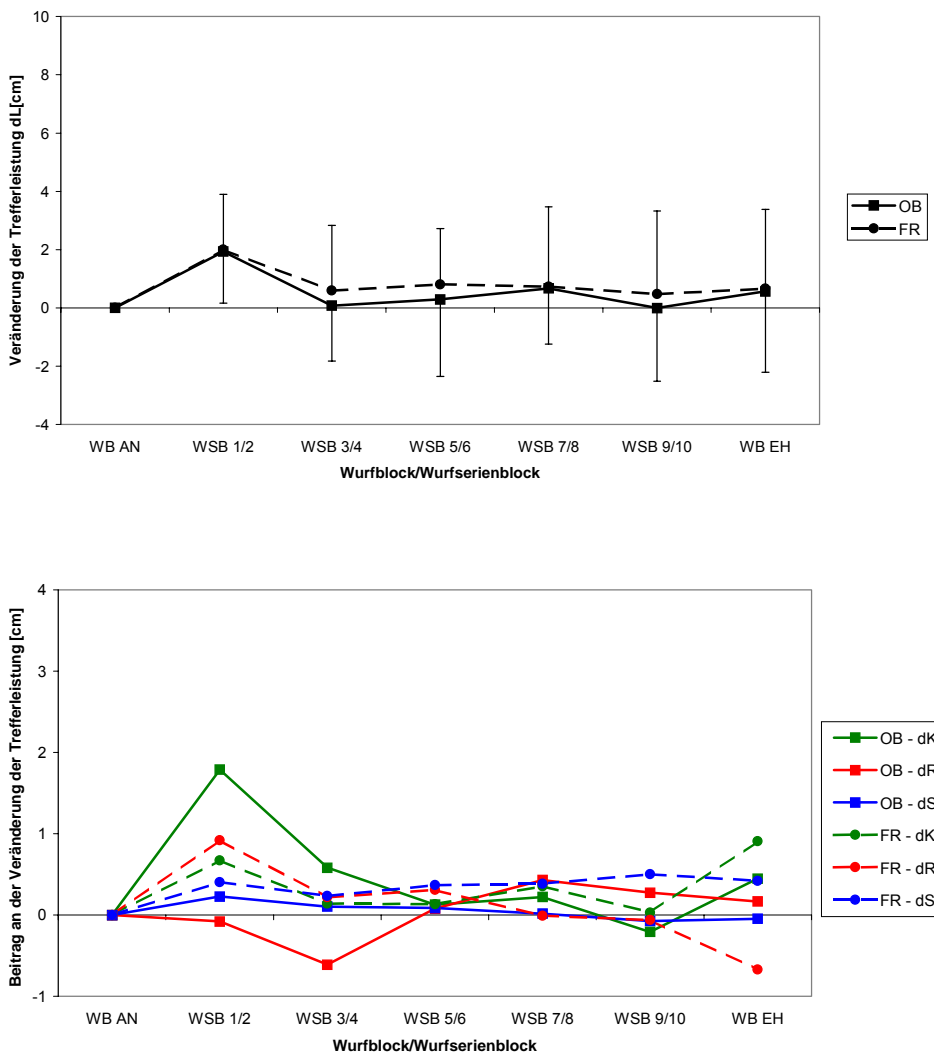







Abbildung 30: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WB_{AN} zu WB_{EH}.

Tabelle 30: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und FR über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie		
	F _(1, 15)	p	f	F _(9, 135)	ε	p bzw. p _{kor.}
$s_{-\alpha_0}$	7,830	.014*	0,72	0,400	,631	.869
$s_{-\nu_0}$	0,540	.474		0,835	,444	.508
s_{-t_0}	5,483	.033*	0,61	1,099	,680	.369
RMS _{W/t}	1,383	.258		0,824	,595	.543
q	4,364	.054	0,54	0,984	,636	.439
$\bar{\alpha}_0$	2,667	.123		0,653	,421	.619
$\bar{\nu}_0$	0,565	.464		0,706	,441	.590
RMS _{Aequi}	0,625	.442		0,950	,586	.457

Die serienbezogenen Parameter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR verändern sich über die zehn Nachbelastungsserien nicht unterschiedlich. Die Streuung im Abwurfwinkel ist unter der Bedingung FR über die Nachbelastungsserien

größer als unter der Bedingung OB. Dies gilt ebenso für die Streuung im Abwurfzeitpunkt und tendenziell für den Kopplungskoeffizienten q, der gleichfalls für FR gegenüber OB höhere Werte aufweist.

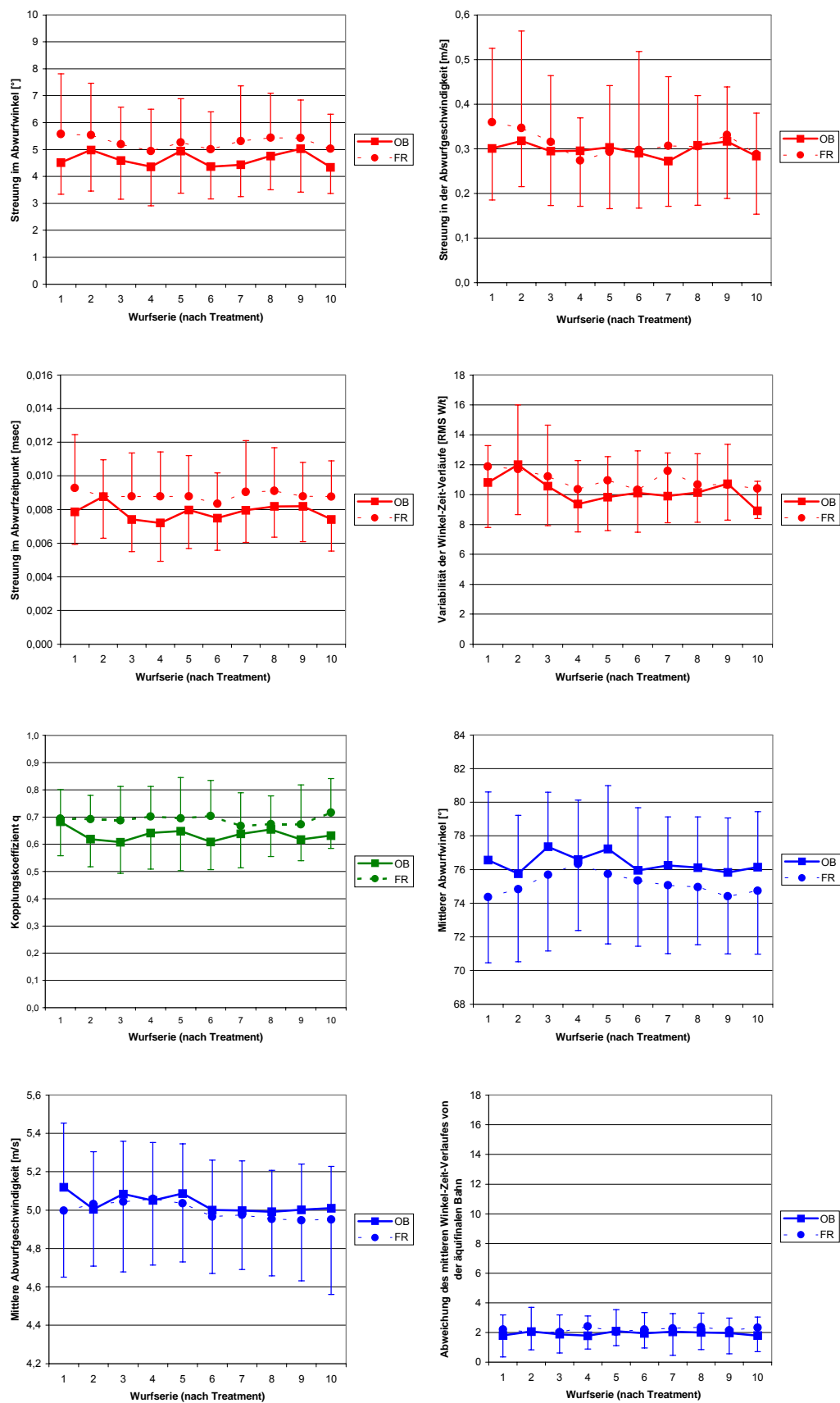


Abbildung 31: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und FR über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

3.4.3.3.3 Erholungspause

H_L 2.3 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung FR unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH} (vgl. Tabelle 31 und Abbildung 30 oben).

Auch bezüglich der Beiträge der drei wurfrelevanten Faktoren unterscheiden sich die Belastungsbedingungen OB und FR im Anschluss an die zehnminütige Pause nach dem letzten Wurfblock nicht (vgl. Tabelle 31 und Abbildung 30 unten).

Tabelle 31: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und FR von WB_{AN} zu WB_{EH}.

	OB ($\bar{x} \pm s$ [cm])	FR ($\bar{x} \pm s$ [cm])	t ₍₁₅₎	p
d _{Leistung}	0,57 ± 2,77	0,66 ± 2,72	0,097	.924
d _{Kova}	0,45 ± 2,74	0,91 ± 2,84	0,530	.604
d _{Rauschen}	0,17 ± 2,12	-0,67 ± 2,70	0,895	.385
d _{Stabi}	-0,05 ± 0,88	0,42 ± 0,62	1,534	.146

Der Kopplungskoeffizient q ist unter der Bedingung FR nach der zehnminütigen Pause tendenziell höher als unter OB (p = .052). Für die übrigen serienbezogenen Parameter wird kein Unterschied statistisch bedeutsam (.813 ≥ p ≥ .188).

3.4.3.3.4 Zusammenfassung und Interpretation

H_L 2.1 und H_L 2.2 wurden angenommen: Für unbelastete Bedingung und Fahrradbelastung unterscheiden sich die relativen Trefferleistungen nicht zum Wurfserienblock WSB_{1/2}, d.h. die induzierte Fahrradbelastung führt zu keiner veränderten Trefferleistung gegenüber der Bedingung OB, wenn auch einzelne serienbezogene Parameter infolge der Belastung verändert sind (erhöhte Streuung im Abwurfwinkel, tendenziell auch im Abwurfzeitpunkt und tendenzielle Verringerung im mittleren Abwurfwinkel und mittlerer Abwurfgeschwindigkeit). Über die Wurfserienblöcke nach dem Belastungstreatment ist weder ein Unterschied, noch eine unterschiedliche Veränderung der relativen Trefferleistung zwischen beiden Bedingungen zu konstatieren. Über diese Messzeitpunkte sind jedoch die Streuungen der serienbezogenen Parameter Abwurfwinkel und -zeitpunkt erhöht (tendenziell auch der Kopplungskoeffizient q). H_L 2.3 konnte ebenfalls angenommen werden: Beide Belastungsbedingungen unterscheiden sich nach der zehnminütigen Pause im Anschluss an Wurfserienblock WSB_{9/10} nicht, d.h. auch nach der Fahrradbelastung unterscheidet sich die Trefferleistung zu diesem Messzeitpunkt nicht vom Ausgangsniveau.

3.4.3.4 Belastungsbedingung „Handkurbel“ (HK)

Die Daten von 13 Vpn gehen in die Auswertung der Aneignungsserien ein (ohne Vp 6, Vp 8 und Vp 19). Für die weiteren Berechnungen wurden wieder sämtliche Vpn herangezogen.

Für alle serienbezogenen Parameter zeigt sich weder ein statistisch bedeutsamer Unterschied über die zehn Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus ($.931 \geq p \geq .106$), noch eine unterschiedliche Veränderung ($.766 \geq p \geq .175$). Es kann daher von einer guten Übereinstimmung beider Belastungsbedingungen hinsichtlich der serienbezogenen Parameter über die zehn Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus ausgegangen werden.

3.4.3.4.1 Veränderung vom Ausgangsniveau zum ersten Wurfserienblock nach Belastung

H_L 3.1 wird angenommen: Die relative Trefferleistung unter der Belastungsbedingung HK ist im Wurfserienblock WSB_{1/2} geringer als unter der Belastungsbedingung OB (vgl. Tabelle 32 und Abbildung 32 oben). Nach der Belastungsbedingung HK kann im anschließenden Wurfserienblock WSB_{1/2} eine signifikante Verminderung der Trefferleistung um 3,44 cm gegenüber der unbelasteten Bedingung OB festgestellt werden. Diese ist vorrangig auf eine gegenüber unbelastetem Zustand tendenziell verminderte Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ zurückzuführen, der einen Beitrag von 3,56 cm an der

Tabelle 32: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von Wurfblock WB_{AN} zu Wurfserienblock WSB_{1/2}.

	OB ($\bar{x} \pm s$ [cm])	HK ($\bar{x} \pm s$ [cm])	t ₍₁₅₎	p	f
d _{Leistung}	1,94 ± 1,78	5,38 ± 3,79	3,109	.004** ⁺	1,08
d _{Kova}	1,79 ± 2,27	3,56 ± 2,78	1,978	.067	0,70
d _{Rauschen}	-0,08 ± 2,51	0,64 ± 2,07	0,838	.415	
d _{Stabi}	0,23 ± 0,61	1,18 ± 2,54	1,649	.120	

⁺: Einseitiger Test

Verringerung der Trefferleistung unter der Bedingung HK aufweist (vgl. Tabelle 32 und Abbildung 32 oben und unten).

Tabelle 33: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HK in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.

	OB ($\bar{x} \pm s$)	HK ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(15)}$	p	f
s_{α_0}	4,52 ± 1,18	5,28 ± 2,03	1,597	.131	
s_{v_0}	0,30 ± 0,12	0,33 ± 0,17	0,569	.578	
s_{t_0}	7,87 ± 1,93	9,94 ± 3,53	2,568	.021*	0,96
RMS _{W/t}	10,80 ± 2,48	12,39 ± 3,92	1,520	.149	
q	0,68 ± 0,12	0,74 ± 0,20	1,078	.298	
$\bar{\alpha}_0$	76,56 ± 4,05	76,42 ± 4,39	0,117	.909	
\bar{v}_0	5,12 ± 0,33	4,81 ± 0,48	2,506	.024*	0,90
RMS _{Aequi}	1,80 ± 1,39	4,53 ± 4,38	2,819	.013*	1,12

Für die serienbezogenen Parameter ist als Folge der Belastung eine höhere Streuung im Abwurfzeitpunkt sowie eine geringere mittlere Abwurfgeschwindigkeit und eine höhere Abweichung von der äquifinalen Bahn festzustellen. Weitere signifikante Unterschiede können nicht festgestellt werden (vgl. Tabelle 33 und Abbildung 33).

3.4.3.4.2 Veränderung über die Wurfserienblöcke nach Belastung

H_L 3.2 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HK verändern sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} unterschiedlich (vgl. Tabelle 34 und Abbildung 32 oben). Die Trefferleistung unter der Belastungsbedingung HK ist dabei geringer als unter der Belastungsbedingung OB ($t_{(15)} = 3,302$; $p_{(eins.)} = .003^{**}$; $f = 0,86$). Diese Interaktion ist als hybrid zu klassifizieren, d.h. die Rangfolge der Mittelwerte des Faktors „Belastungsbedingung“ gilt für alle Stufen des Faktors „Messzeitpunkt“. Für die abhängige Variable „Aufgabendienliche Kovariation“ verfehlt der Haupteffekt „Belastungsbedingung“ das 5%-Signifikanzniveau nur marginal. Die Nutzung dieses Faktors ist nach der Handkurbelbelastung tendenziell vermindert ist. Ebenfalls nur marginal überschreitet die Interaktion „Belastungsbedingung x Messzeitpunkt“ die 5%-Signifikanzschränke für die abhängige Variable „Rauschreduktion“. Für den Faktor „Stabilität“

Tabelle 34: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10}.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie			
	F _(1, 15)	p	f	F _(4, 60)	ε	p bzw. p _{kor.}	f
d _{Leistung}	einseitiger t-Test (s.o.)			4,478	-	.003*	0,55
d _{Kova}	4,242	.057	0,53	0,812	-	.522	
d _{Rauschen}	1,305	.271		2,505	-	.051	0,41
d _{Stabi}	3,090	.099	0,45	0,235	.509	.795	

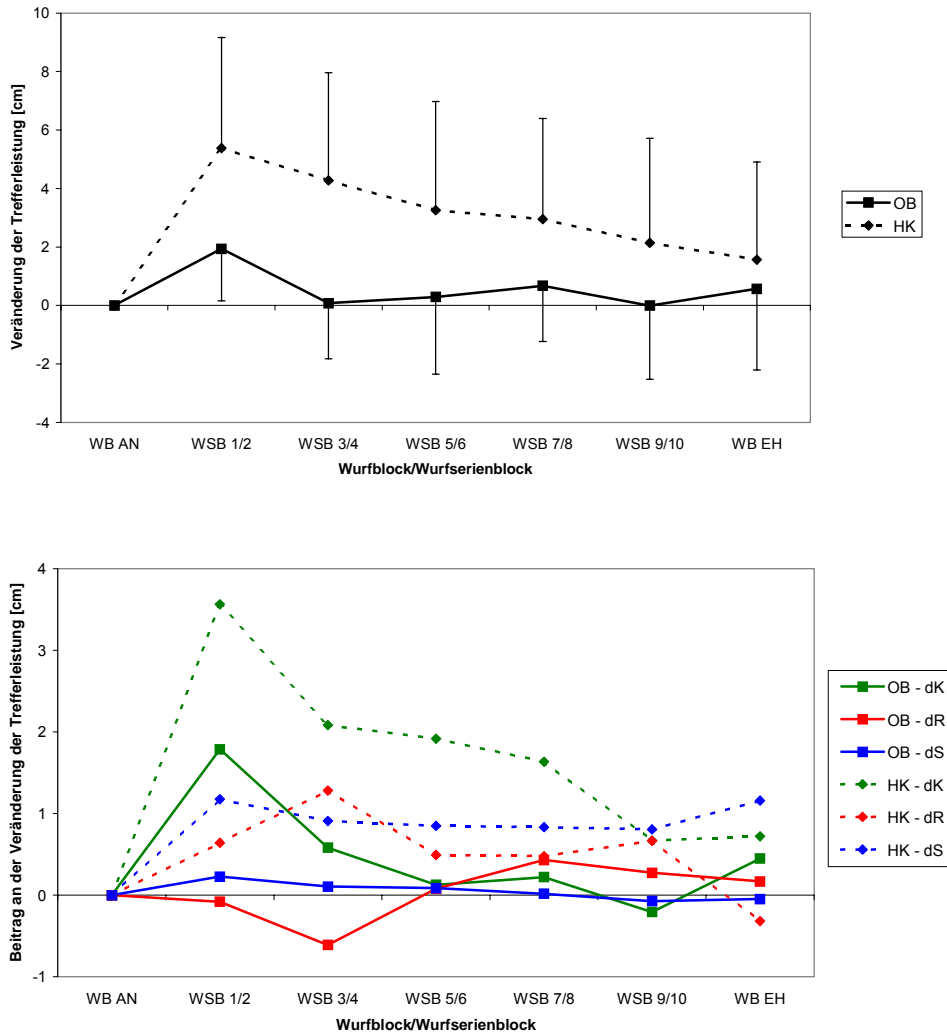


Abbildung 32: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von WB_{AN} zu WB_{EH} .

unterschreitet der Haupteffekt „Belastungsbedingung“ die 10%-Schranke: tendenziell führt dieser Faktor gegenüber der unbelasteten Bedingung über alle Wurfserienblöcke nach Belastung zu einer Verminderung der relativen Trefferleistung.

Tabelle 35: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HK über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie			
	$F_{(1, 15)}$	p	f	$F_{(9, 135)}$	ε	p bzw. $p_{\text{korr.}}$	f
$s_{-\alpha_0}$	15,280	.001**	1,01	1,662	,539	.157	
s_{-v_0}	4,530	.050*	0,55	0,715	,344	.552	
s_{-t_0}	14,246	.002**	0,97	1,800	,472	.136	
$\text{RMS}_{W/t}$	4,918	.042*	0,57	0,921	,537	.470	
q	8,336	.011*	0,75	1,041	,581	.401	
$\bar{\alpha}_0$	0,248	.625		0,693	,498	.615	
\bar{v}_0	2,118	.166		3,594	,337	.020*	0,49
$\text{RMS}_{\text{Aequi}}$	6,654	.021*	0,67	1,543	,161	.235	

Die mittlere Abwurfgeschwindigkeit verändert sich über die Nachbelastungsserien unterschiedlich. Streng genommen muss die Interaktion als disordinale Interaktion klassifiziert werden. Es zeigt sich jedoch, dass – mit Ausnahme der zehnten Wurfserie nach Belastung – unter der Belastungsbedingung HK eine geringere mittlere Abwurfgeschwindigkeit erreicht wird. Weitere Interaktionseffekte werden nicht signifikant. Bezogen auf die serienbezogenen Parameter des Rauschens zeigen sich durchgängig signifikante Haupteffekte für die Belastungsbedingung: Die Streuungen in Abwurfwinkel, -geschwindigkeit und Abwurfzeitpunkt sowie die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe sind unter der Bedingung HK erhöht. Der Kopplungskoeffizient q ist infolge der Handkurbelbelastung ebenfalls erhöht. Ebenso kann eine stärkere Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufes von der äquifinalen Bahn unter der Bedingung HK festgestellt werden (vgl. Tabelle 35 und Abbildung 33).

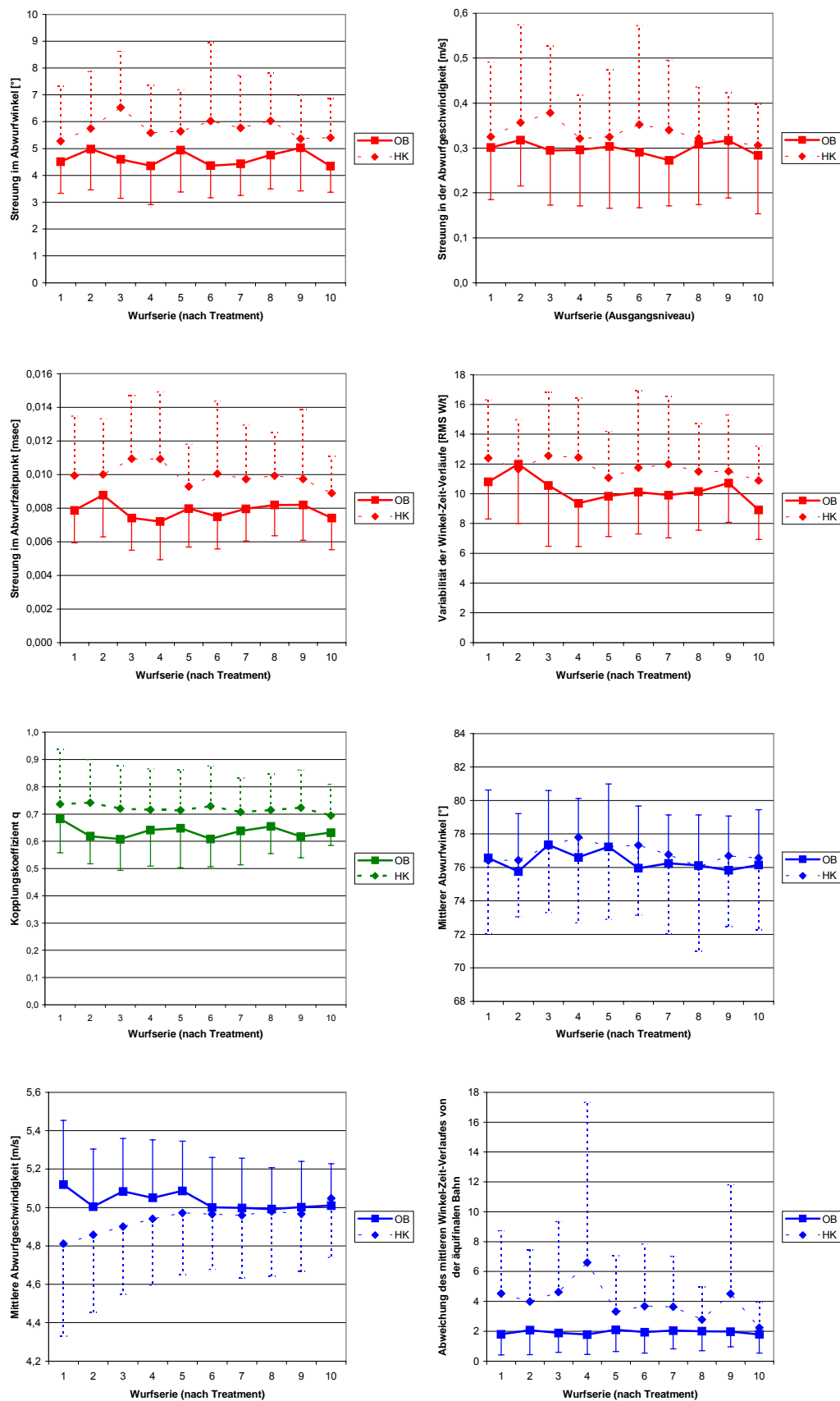


Abbildung 33: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HK über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

3.4.3.4.3 Erholungspause

H_L 3.3 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HK unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH} (vgl. Tabelle 36

und Abbildung 32 oben).

Tabelle 36: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HK von WB_{AN} zu WB_{EH}.

	OB ($\bar{x} \pm s$ [cm])	HK ($\bar{x} \pm s$ [cm])	t ₍₁₅₎	p	f
d _{Leistung}	0,57 ± 2,77	1,56 ± 3,34	0,791	.441	
d _{Kova}	0,45 ± 2,74	0,72 ± 3,14	0,231	.820	
d _{Rauschen}	0,17 ± 2,12	-0,32 ± 2,62	0,678	.508	
d _{Stabi}	-0,05 ± 0,88	1,16 ± 1,54	3,283	.005*	1,21

Der Beitrag des Faktors „Stabilität“ wird hingegen nach der zehnminütigen Pause infolge der Handkurbelbelastung schlechter genutzt,

was jedoch durch die Nutzung der anderen Faktoren individuell unterschiedlich kompensiert zu werden scheint, so dass kein Unterschied in der relativen Trefferleistung festzustellen ist.

Bezüglich der serienbezogenen Parameter zeigt sich lediglich für die Streuung im Abwurfwinkel noch ein Unterschied zwischen den beiden Belastungsbedingungen OB und HK (p = .035*): sie ist unter der Bedingung HK nach der zehnminütigen Pause noch erhöht. Die Streuung im Abwurfzeitpunkt ist unter der Bedingung HK tendenziell erhöht (p = .078). Sonstige Unterschiede werden nicht signifikant (.871 ≥ p ≥ .102).

3.4.3.4.4 Zusammenfassung und Interpretation

H_L 3.1 konnte angenommen werden: Es zeigte sich, dass infolge der Handkurbelbelastung die Trefferleistung gegenüber der unbelasteten Bedingung im ersten Wurfserienblock nach Belastung WSB_{1/2} reduziert ist. Tendenzuell wird der Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ schlechter genutzt. Von den serienbezogenen Parametern ist die mittlere Abwurfgeschwindigkeit reduziert und die Streuung im Abwurfzeitpunkt sowie die Abweichung von der äquifinalen Bahn erhöht. Diese Effekte werden auf die neuromuskulären Beanspruchungen infolge der Handkurbelbelastung zurückgeführt. Auch H_L 3.2 wurde angenommen: Über die folgenden Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} zeigt sich, dass nach der Handkurbelbelastung eine geringere Trefferleistung erzielt wird und sich diese unterschiedlich verändert, was auf einer Verbesserung der Trefferleistung unter der Belastungsbedingung HK über die Wurfserienblöcke beruht. Diese Effekte sind auf die noch wirksamen neuromuskulären Beanspruchungen und die bereits einsetzenden Erholungsprozesse zurückzuführen. Zahlreiche serienbezogene Parameter zeigen ebenfalls

über die Wurfserien nach dem Treatment signifikante Unterschiede zwischen den Belastungsbedingungen auf. Letztlich konnte auch H_L 3.3 angenommen werden: Im Anschluss an die zehnminütige Pause nach $WSB_{9/10}$ unterscheiden sich unbelastete Bedingung und Handkurbelbedingung nicht hinsichtlich ihrer relativen Trefferleistung, d.h. die Pause von zehn Minuten ist ausreichend, um die negativen Effekte der neuromuskulären Beanspruchung auf die Trefferleistung vollständig zu reduzieren. Dennoch sind für zwei serienbezogene Parameter, die Streuung im Abwurfwinkel und im Abwurfzeitpunkt, nach der zehnminütigen Pause noch erhöhte Werte festzustellen (im letzten Fall allerdings nur tendenziell).

3.4.3.5 Belastungsbedingung „Hantel“ (HT)

Die Daten von 13 Vpn gehen in die Auswertung der Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus ein (ohne Vp 8, Vp 15 und Vp 19). Für die weiteren Berechnungen können wieder alle Vpn herangezogen werden.

Für die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe zeigt sich über die zehn Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus eine unterschiedliche Veränderung für die beiden Belastungsbedingungen OB und HT ($p = .021$). Weitere Interaktionseffekte werden nicht signifikant ($.622 \geq p \geq .140$). Bezüglich des Kopplungskoeffizienten q unterscheiden sich die Belastungsbedingungen über die Serien, wobei unter der Bedingung HT der Kopplungskoeffizient q im Mittel höher liegt ($\bar{x} = 0,67$) als unter der Bedingung OB ($\bar{x} = 0,61$). Weitere Unterschiede werden statistisch nicht bedeutsam ($.941 \geq p \geq .422$).

3.4.3.5.1 Veränderung vom Ausgangsniveau zum ersten Wurfserienblock nach Belastung

H_L 4.1 wird angenommen: Die relative Trefferleistung unter der Belastungsbedingung HT ist im Wurfserienblock $WSB_{1/2}$ geringer als unter der Belastungsbedingung OB (vgl. Tabelle 37 und Abbildung 34 oben).

Tabelle 37: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter der Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WSB_{1/2}.

	OB ($\bar{x} \pm s$ [cm])	HT ($\bar{x} \pm s$ [cm])	$t_{(15)}$	p	f
d _{Leistung}	1,94 ± 1,78	4,36 ± 3,43	2,556	.011* +	0,91
d _{Kova}	1,79 ± 2,27	1,89 ± 2,41	0,104	.919	
d _{Rauschen}	-0,08 ± 2,51	1,60 ± 2,35	1,677	.114	
d _{Stabi}	0,23 ± 0,61	0,87 ± 2,71	0,988	.339	

+ : Einseitiger Test

Nach der Hantelbelastung kann im anschließenden ersten Wurfserienblock WSB_{1/2} eine signifikante Verminderung der relativen

Trefferleistung um 2,42 cm gegenüber der unbelasteten Belastungsbedingung OB festgestellt werden. Hier zeigt allerdings kein Faktor einen gegenüber unbelastetem Zustand signifikanten Beitrag an dieser Veränderung.

Bei den serienbezogenen Parametern des Rauschens zeigt sich in der Streuung im Abwurfwinkel und im Abwurfzeitpunkt eine Zunahme unter der Belastungsbedingung HT. Der Kopplungskoeffizient q weist einen belastungsinduzierten Anstieg gegenüber der unbelasteten Bedingung auf. Da sich für diese abhängige Variable allerdings Unterschiede über die Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus gezeigt haben (vgl. Kapitel B3.4.3.5), wurde hier zusätzlich eine varianzanalytische Auswertung vorgenommen. Der Interaktionseffekt wird statistisch bedeutsam ($F_{(1, 15)} = 7,080$; $p = .018^*$; $f = 0,69$). Beide Haupteffekte hingegen werden statistisch nicht bedeutsam. Tendenziell zeigt sich für die Bedingung OB ein Anstieg zur ersten

Tabelle 38: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HT in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.

	OB ($\bar{x} \pm s$)	HT ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(15)}$	p	f
$s_{-\alpha_0}$ [°]	4,52 ± 1,18	5,31 ± 1,07	2,577	.021*	0,91
s_{-v_0} [m/s]	0,30 ± 0,12	0,33 ± 0,10	1,093	.292	
s_{-t_0} [msec]	7,87 ± 1,93	9,41 ± 2,16	2,429	.028*	0,86
RMS _{W/t}	10,80 ± 2,48	11,73 ± 2,06	1,242	.233	
q	0,68 ± 0,12	0,76 ± 0,12	1,667	.116	
$\bar{\alpha}_0$ [°]	76,56 ± 4,05	73,67 ± 4,00	3,309	.005**	1,17
\bar{v}_0 [m/s]	5,12 ± 0,33	4,69 ± 0,28	5,195	.000***	1,85
RMS _{Aequi}	1,80 ± 1,39	3,67 ± 2,79	2,562	.022*	0,92

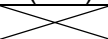

Nachbelastungsreihe, für die Bedingung HT hingegen ein Abfall. Für die serienbezogenen Parameter der Stabilität zeigt sich durchgängig ein Unterschied: sowohl der mittlere Abwurfwinkel als auch die mittlere Abwurfgeschwindigkeit

sind unter der Belastungsbedingung HT gegenüber der Bedingung OB reduziert. Die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufes von der äquifinalen Bahn ist unter der Bedingung HT deutlich reduziert (Tabelle 38 und Abbildung 35).

3.4.3.5.2 Veränderung über die Wurfserienblöcke nach Belastung

H_L 4.2 wird abgelehnt: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HT verändern sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} nicht unterschiedlich (vgl. Tabelle 39 und Abbildung 34 oben). Die relative Trefferleistung ist jedoch unter der Belastungsbedingung HT über die Wurfserienblöcke reduziert ($t_{(15)} = 2,738$; $p_{(eins.)} = .008^{**}$; $f = 1,01$). Jedoch kann ein Unterschied hinsichtlich der relativen Trefferleistung zwischen den Belastungsbedingungen über die Wurfserienblöcke festgestellt werden: Unter

Tabelle 39: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10}.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie		
	F _(1, 15)	p	f	F _(4, 60)	ε	p bzw. p _{kor.}
d _{Leistung}	einseitiger t-Test (s.o.)			2,152	,597	.123
d _{Kova}	0,026	.874		0,215	-	.929
d _{Rauschen}	3,146	.096	0,46	0,899	-	.470
d _{Stabi}	0,844	.373		0,720	,433	.477

Belastungsbedingung HT ist die relative Trefferleistung über die Wurfserienblöcke nach der Belastung geringer. Auch die Beiträge der wurfrelevanten Faktoren verändern sich über die Wurfserienblöcke nicht unterschiedlich. Für die abhängige Variable

„Rauschreduktion“ wird der Haupteffekt „Belastungsbedingung“ marginal signifikant: Der Beitrag dieses Faktors wird infolge der Hantelbelastung gegenüber dem unbelasteten Zustand tendenziell weniger genutzt (vgl. Tabelle 39 und Abbildung 34 unten).

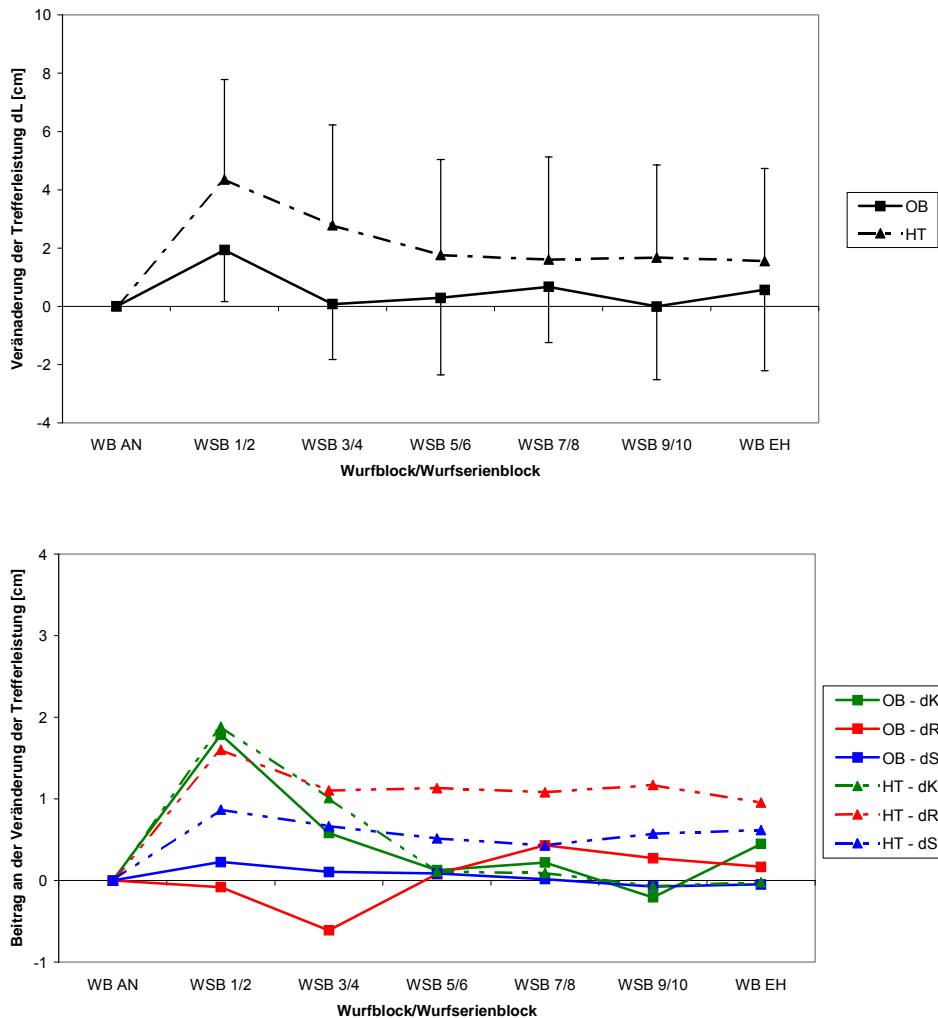


Abbildung 34: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WB_{EH}.

Über die Nachbelastungsserien zeigt sich ein Unterschied zwischen den beiden Belastungsbedingungen OB und HT bezüglich der Streuungen in Abwurfwinkel, Abwurfgeschwindigkeit und Abwurfzeitpunkt: Sie sind infolge der Hantelbelastung erhöht. Ebenso ist der Kopplungskoeffizient q über die Nachbelastungsserien erhöht. Mittlerer Abwurfwinkel und mittlere Abwurfgeschwindigkeit sind unter der Bedingung HT reduziert (wobei dies für den Abflugwinkel nur tendenziell gilt). Für die mittlere Abwurfgeschwindigkeit wird allerdings auch der Interaktionseffekt signifikant. Die Interaktion ist streng genommen als disordinal zu klassifizieren, da lediglich zu Wurfserie 7 unter der Bedingung HT eine geringfügig höhere mittlere Abwurfgeschwindigkeit vorliegt.

Sieht man von diesem Zeitpunkt einmal ab, so sind sämtliche mittlere Abwurfgeschwindigkeiten unter der Belastungsbedingung HT über die Nachbelastungsserien geringer als in unbelastetem Zustand. Signifikante Interaktionseffekte zeigen sich weiterhin auch für die Variabilität der

Tabelle 40: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HT über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie			
	$F_{(1, 15)}$	p	f	$F_{(9, 135)}$	ϵ	p bzw. $p_{\text{korr.}}$	f
$s_{-\alpha_0}$	13,385	.002**	0,95	0,700	,640	.645	
s_{-v_0}	5,022	.041*	0,58	0,350	,654	.906	
s_{-t_0}	12,926	.003**	0,93	0,928	,640	.477	
$\text{RMS}_{W/t}$	2,452	.138		2,349	,610	.043*	0,40
q	8,409	.011*	0,75	0,577	,565	.720	
$\bar{\alpha}_0$	3,212	.093	0,46	1,272	,478	.289	
\bar{v}_0	5,634	.031*	0,61	6,497	,507	.000***	0,66
$\text{RMS}_{\text{Aequi}}$	2,522	.133		2,794	,631	.017*	0,43

Winkel-Zeit-Verläufe, wobei dieser Effekt strenggenommen ebenfalls als disordinal zu klassifizieren ist (unter HT ist nur in Wurfserie 2 die Streuung geringer als unter OB), und die Anpassung des mittleren Winkel-

Zeit-Verlaufes an die äquifinale Bahn. Im letzten Fall liegt eine hybride Interaktion vor: Unter der Bedingung HT kommt es über die Wurfserien nach der Belastung wieder zu einer besseren Anpassung an die äquifinale Bahn (vgl. Tabelle 40 und Abbildung 35).

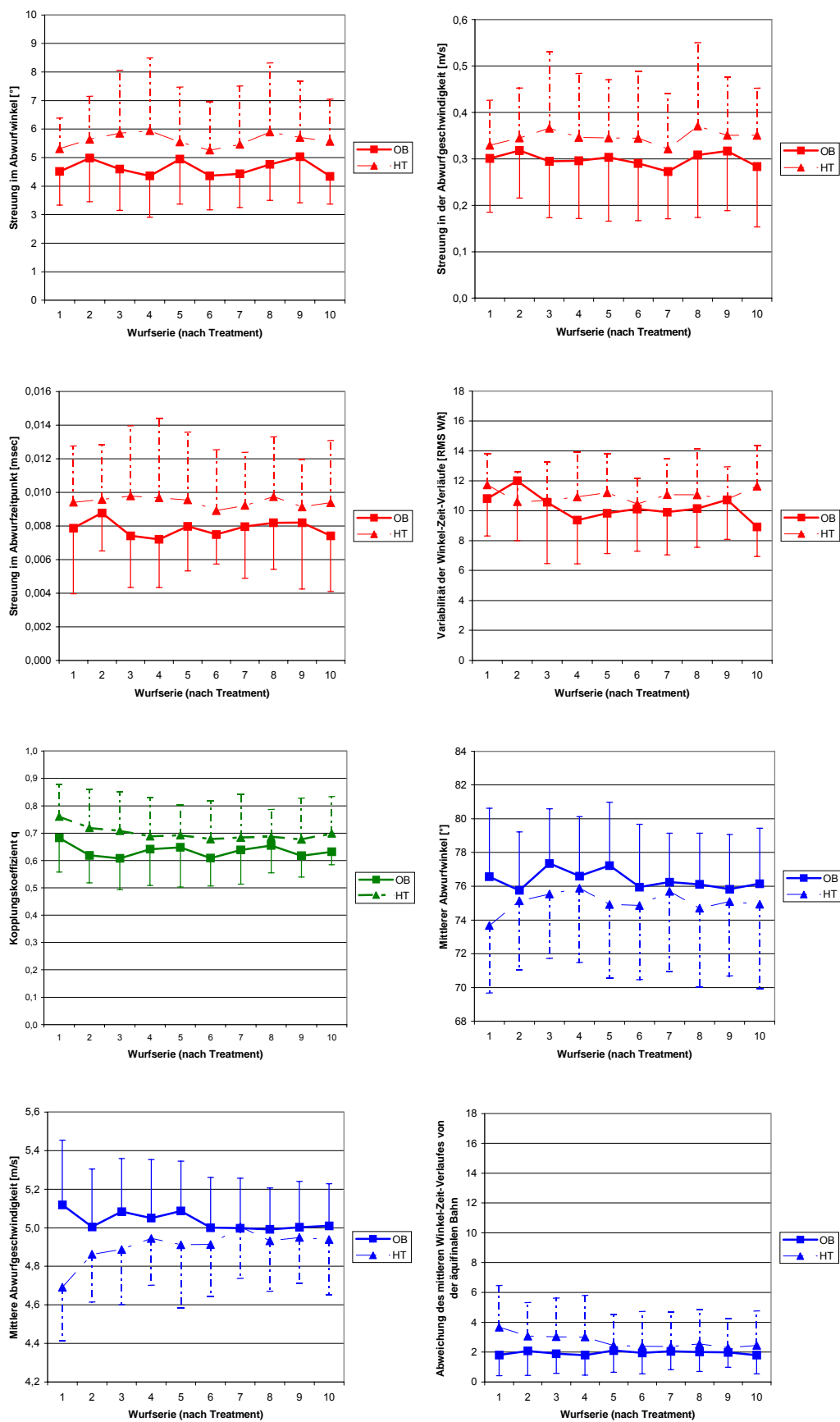


Abbildung 35: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen OB und HT über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

3.4.3.5.3 Erholungspause

H_L 4.3 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung OB und der Belastungsbedingung HT unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH} (vgl. Tabelle 41 und Abbildung 34 oben). Auch hinsichtlich der Faktorenbeiträge können keine Unterschiede

Tabelle 41: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WB_{EH}.

	OB ($\bar{x} \pm s$ [cm])	HT ($\bar{x} \pm s$ [cm])	t ₍₁₅₎	p
d _{Leistung}	0,57 ± 2,77	1,55 ± 3,18	1,046	.312
d _{Kova}	0,45 ± 2,74	-0,02 ± 1,47	0,567	.579
d _{Rauschen}	0,17 ± 2,12	0,96 ± 1,61	1,358	.195
d _{Stabi}	-0,05 ± 0,88	0,62 ± 2,13	1,318	.207

zwischen den beiden Belastungsbedingungen OB und HT im Anschluss an die zehnminütige Pause festgestellt werden (vgl. Tabelle 41).

Nach der Pause findet sich noch ein signifikanter Unterschied zwischen den

beiden Belastungsbedingungen für die Streuungen im Abwurfwinkel ($p = .012^*$) und im Abwurfzeitpunkt ($p = .028^*$): Diese sind unter der Bedingung HT erhöht. Weitere Unterschiede werden nicht signifikant ($.949 \geq p \geq .234$).

3.4.3.5.4 Zusammenfassung und Interpretation

H_L 4.1 wurde angenommen: Es zeigte sich, dass infolge der Hantelbelastung die Trefferleistung gegenüber der unbelasteten Bedingung im ersten Wurfserienblock WSB_{1/2} nach Belastung reduziert ist. Dies wird auf die neuromuskulären Beanspruchungen infolge der Hantelbelastung zurückgeführt. Für diese Verminderung der Trefferleistung zeichnet jedoch kein wurfrelevanter Faktor hauptsächlich verantwortlich. Von den serienbezogenen Parametern sind infolge der Belastung die Streuungen von Abwurfwinkel und -geschwindigkeit, sowie die Abweichung von der äquifinalen Bahn erhöht, mittlerer Abwurfwinkel und mittlere Abwurfgeschwindigkeit hingegen reduziert. H_L 4.2 musste abgelehnt werden: Über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} zeigte sich keine unterschiedliche Veränderung der Trefferleistung. Allerdings zeigte sich über die gesamten Wurfserien eine verminderte Trefferleistung unter der Bedingung HT. Infolge der Hantelbelastung stattfindende Erholungsprozesse führen also nicht zu einer Verbesserung der Trefferleistung über die anschließenden Wurfserien. Diese verminderte Trefferleistung ist tendenziell hauptsächlich auf eine verringerte Nutzung des Faktor „Rauschreduktion“ zurückzuführen. Die zahlreichen Unterschiede in den serienbezogenen Parameter stützen diese Befunde. Im Anschluss an die zehnminütige Pause nach dem Wurfserienblock WSB_{9/10} unterscheiden sich unbelastete Bedingung und Hantelbedingung nicht

hinsichtlich ihrer relativen Trefferleistung, d.h. auch nach der Hantelbelastung liegt zu diesem Messzeitpunkt eine gegenüber dem Ausgangsniveau unveränderte Trefferleistung vor. Zu diesem Zeitpunkt sind jedoch die Streuungen im Abwurfwinkel und im Abwurfzeitpunkt noch erhöht.

3.4.3.6 Vergleich der beiden Belastungsbedingungen „Handkurbelbelastung“ (HK) und „Hantelbelastung“ (HT)

Die Daten von 13 Vpn gehen in die Auswertung des Ausgangsniveaus ein (ohne Vp 6, Vp 15 und Vp 19). Für die weiteren Berechnungen können wiederum alle Vpn herangezogen werden.

Es kann eine gute Übereinstimmung hinsichtlich der serienbezogenen Parameter über die zehn Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus für die Belastungsbedingungen HK und HT festgestellt werden. Lediglich die mittlere Abwurfgeschwindigkeit ist unter der Bedingung HK (\bar{x} = 4,96 m/s) im Mittel über die zehn Serien geringer als unter der Bedingung HT (\bar{x} = 5,09 m/s; p = .049*). Sonstige Unterschiede werden ebenso wenig signifikant ($.802 \geq p \geq .314$) wie Interaktionseffekte ($.648 \geq p \geq .161$).

3.4.3.6.1 Veränderung vom Ausgangsniveau zum ersten Wurfserienblock nach Belastung

H_L 5.1 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung HK und der Belastungsbedingung HT unterscheiden sich nicht im Wurfserienblock WSB_{1/2} (vgl. Tabelle 42 und Abbildung 36 oben).

Tabelle 42: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen HK und HT zu WSB_{1/2}.

	HK ($\bar{x} \pm s$ [cm])	HT ($\bar{x} \pm s$ [cm])	$t_{(15)}$	p	f
d _{Leistung}	5,38 ± 3,79	4,36 ± 3,43	1,149	.269	
d _{Kova}	3,56 ± 2,78	1,89 ± 2,41	2,141	.049*	0,76
d _{Rauschen}	0,64 ± 2,07	1,60 ± 2,35	1,372	.190	
d _{Stabi}	1,18 ± 2,41	0,87 ± 2,71	0,612	.550	

Im Wurfserienblock WSB_{1/2} zeigt sich jedoch ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Beitrages des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ an der Veränderung der

Trefferleistung: dieser wird unter der Belastungsbedingung HK schlechter genutzt als unter der Belastungsbedingung HT (vgl. Tabelle 42).

Tabelle 43: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter unter den Belastungsbedingungen HK und HT in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment.

	HK ($\bar{x} \pm s$)	HT ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(15)}$	p	f
$s_{-\alpha_0}$ [°]	5,28 ± 2,03	5,31 ± 1,07	0,060	.953	
$s_{-\nu_0}$ [m/s]	0,33 ± 0,17	0,33 ± 0,10	0,096	.925	
s_{-t_0} [msec]	9,94 ± 3,53	9,41 ± 2,16	0,707	.491	
RMS _{W/t}	12,39 ± 3,92	11,73 ± 2,06	0,675	.510	
q	0,74 ± 0,20	0,76 ± 0,12	0,491	.631	
$\bar{\alpha}_0$ [°]	76,42 ± 4,39	73,67 ± 4,00	2,199	.044*	0,78
$\bar{\nu}_0$ [m/s]	4,81 ± 0,48	4,69 ± 0,28	1,192	.252	
RMS _{Aequi}	4,53 ± 4,19	3,67 ± 2,79	1,394	.184	

Es kann festgestellt werden, dass sich in der ersten Wurfserie nach dem Belastungstreatment die beiden Bedingungen HK und HT in keinem serienbezogenen Parameter unterscheiden (vgl. Tabelle 43 und Abbildung 37). Da

allerdings bezüglich der mittleren Abwurfgeschwindigkeit Unterschiede im Ausgangsniveau festzustellen waren, wurde auch an dieser Stelle zusätzlich eine varianzanalytische Überprüfung der Daten vorgenommen. Der Interaktionseffekt wird jedoch nicht signifikant ($F_{(1, 12)} = 2,461$; $p = .143$), d.h. die beiden Belastungen führen zu keinen unterschiedlichen Veränderungen dieses Parameters.

3.4.3.6.2 Veränderung über die Wurfserienblöcke nach Belastung

H_L 5.2 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung HK und der Belastungsbedingung HT verändern sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu

WSB_{9/10} nicht

Tabelle 44: Veränderung der Trefferleistung und Beitrag der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung der Belastungsbedingungen HK und HT vom Wurfserienblock WSB_{1/2} zum Wurfserienblock WSB_{9/10}.

unterschiedlich (vgl. Tabelle 44 und Abbildung 36 oben).

	HE Belastung			IA Belastung x Serie		
	$F_{(1, 15)}$	p	f	$F_{(4, 60)}$	ε	p bzw. p _{korr.}
d _{Leistung}	2,094	.168		0,921	-	.458
d _{Kova}	7,935	.013*	0,73	1,063	-	.383
d _{Rauschen}	0,861	.368		0,832	,697	.477
d _{Stabi}	0,466	.505		0,252	,519	.787

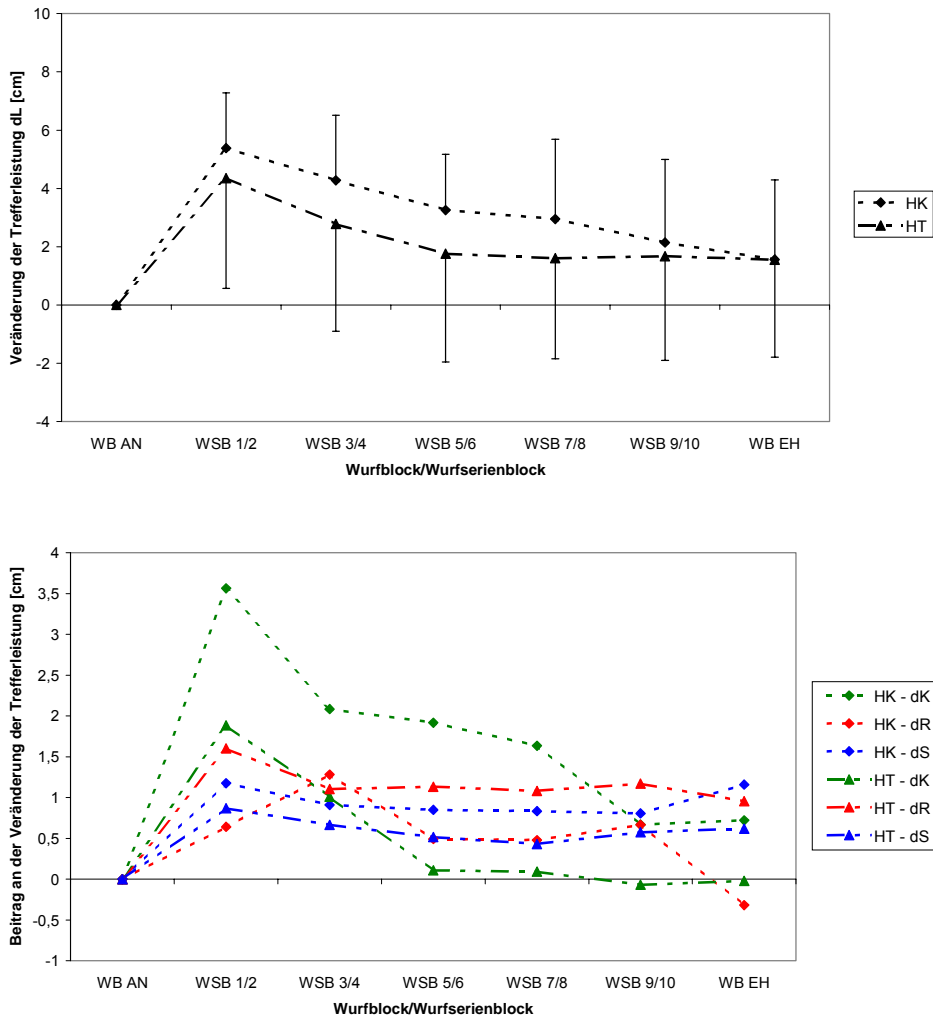


Abbildung 36: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen OB und HT von WB_{AN} zu WB_{EH}.

Auch bezüglich der Beiträge der einzelnen Faktoren zeigen sich keine unterschiedlichen Veränderungen. Signifikant wird der Haupteffekt „Belastungsbedingung“ für den Faktor „Aufgabendienliche Kovariation“ über die Nachbelastungsserien. Dieser wird infolge der Handkurbelbelastung schlechter genutzt (vgl. Tabelle 44 und Abbildung 36 unten).

Über die zehn Wurfserien nach dem Belastungstreatment ist bzgl. der serienbezogenen

Tabelle 45: Inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung serienbezogener Parameter unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die Wurfserien nach dem Belastungstreatment.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie		
	$F_{(1, 15)}$	p	f	$F_{(9, 135)}$	ε	p bzw. $p_{\text{korr.}}$
$s_{-}\alpha_0$	0,096	.760		0,831	,545	.530
$s_{-}v_0$	0,224	.643		0,714	,524	.607
$s_{-}t_0$	0,556	.467		0,685	,515	.626
$\text{RMS}_{\text{W/t}}$	0,955	.344		0,898	,638	.497
q	0,715	.411		0,599	,582	.709
$\bar{\alpha}_0$	2,522	.133		0,646	,505	.651
\bar{v}_0	0,353	.561		1,073	,534	.382
$\text{RMS}_{\text{Aequi}}$	3,310	.089	0,47	1,184	,160	.310

Parameter lediglich für $\text{RMS}_{\text{Aequi}}$ ein marginal signifikanter Unterschied festzustellen: infolge der Handkurbelbelastung ist die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufes von der äquifinalen Bahn größer (vgl. Tabelle 45 und Abbildung 37).

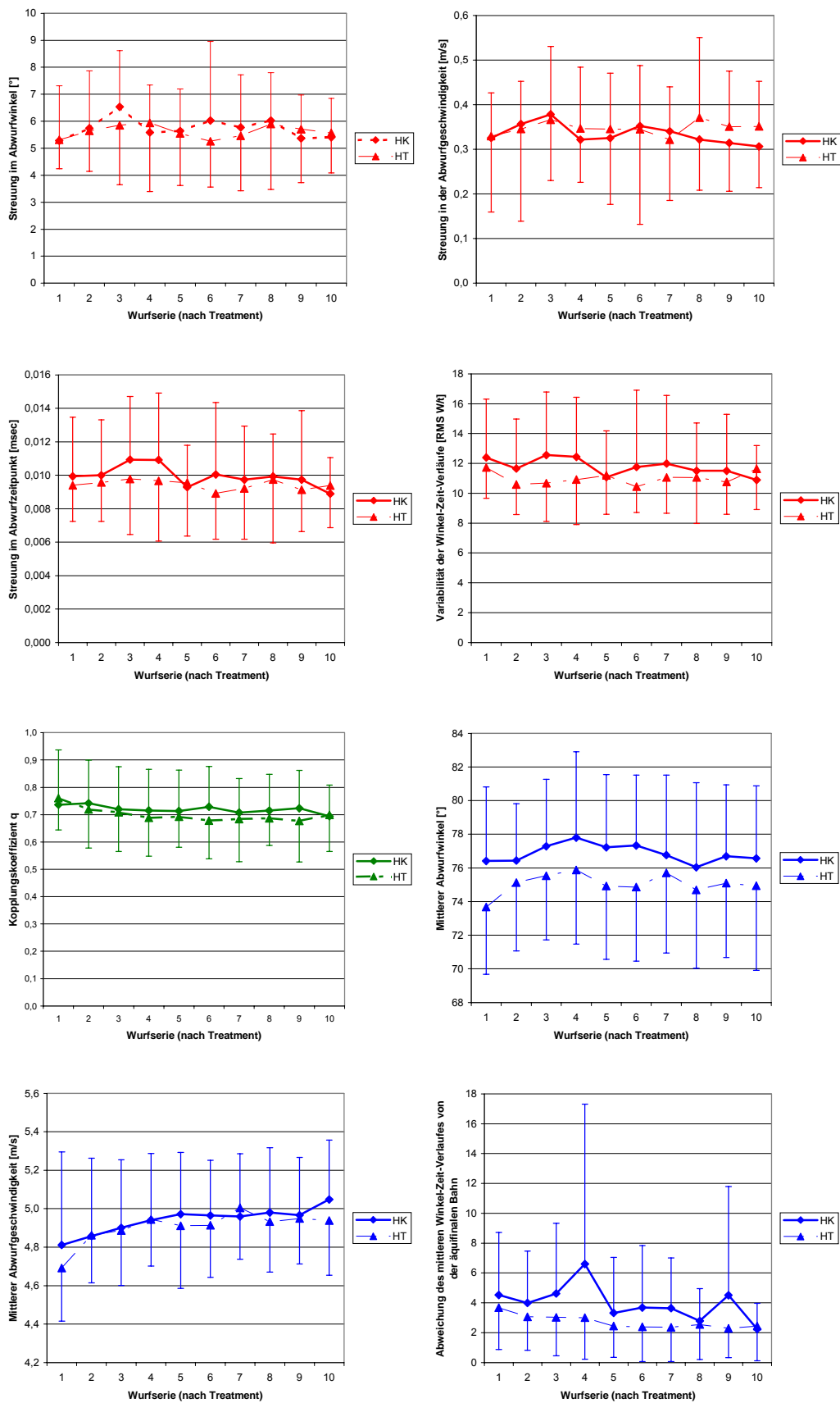


Abbildung 37: Veränderung der serienbezogenen Parameter unter den Bedingungen HK und HT über die Serien nach dem Treatment.

3.4.3.6.3 Erholungspause

H_L 5.3 wird angenommen: Die relativen Trefferleistungen unter der Belastungsbedingung HK und der Belastungsbedingung HT unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{EH} (vgl. Tabelle 46

Tabelle 46: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der Veränderung der Trefferleistung sowie der Beiträge der Faktoren unter den Belastungsbedingungen HK und HT von WB_{AN} zu WB_{EH}.

	HK ($\bar{x} \pm s$ [cm])	HT ($\bar{x} \pm s$ [cm])	t ₍₁₅₎	p	f
d _{Leistung}	1,56 ± 3,34	1,55 ± 3,18	0,009	.993	
d _{Kova}	0,72 ± 3,14	-0,02 ± 1,47	0,805	.433	
d _{Rauschen}	-0,32 ± 2,62	0,96 ± 1,61	1,959	.069	0,71
d _{Stabi}	1,16 ± 1,54	0,62 ± 2,13	0,975	.345	

und Abbildung 36 oben).

Der Unterschied zwischen beiden Bedingungen im Anschluss an die zehnminütige Pause wird bzgl. des Beitrags des Faktors

„Rauschreduktion“ marginal signifikant. Dieser Faktor wird unter der Belastungsbedingung HT nach der Pause tendenziell schlechter genutzt als unter der Belastungsbedingung HK (vgl. Tabelle 46).

Für die serienbezogenen Parameter zeigen sich nach der zehnminütigen Pause keine Unterschiede ($.871 \geq p \geq .343$).

3.4.3.6.4 Zusammenfassung und Interpretation

H_L 5.1 und H_L 5.2: konnte angenommen werden. Weder unterscheiden sich die relativen Trefferleistungen unter den beiden neuromuskulären Beanspruchungsbedingungen zum Wurfserienblock WSB_{1/2}, noch verändern sie sich über die folgenden Wurfserienblöcke bis zu WSB_{9/10} unterschiedlich. Zwar zeigt sich über die Wurfserienblöcke von WSB_{1/2} zu WSB_{9/10} eine verminderte Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“; diese scheint jedoch individuell über die anderen Faktoren wieder ausgeglichen zu werden. Hinsichtlich der serienbezogenen Parameter zeigt sich lediglich in der ersten Wurfserie nach Belastung ein verringerter Abwurfwinkel infolge der Hantelbelastung. H_L 5.3 wurde ebenfalls angenommen: Im Anschluss an die zehnminütige Pause kann kein Unterschied zwischen den beiden Belastungsbedingungen hinsichtlich der relativen Trefferleistung festgestellt werden. Auch bzgl. der serienbezogenen Parameter sind keine Unterschiede nach der Pause zu konstatieren.

3.5 Gesamtzusammenfassung des ersten Experiments und Schlussfolgerungen

Für die unbelastete Bedingung war eine AZAN-Erhöhung gegenüber der Baseline festzustellen, die als Feedforward-Regelung im Hinblick auf die motorische Aufgabe interpretiert wurde. Die Trefferleistung war im Wurfserienblock $WSB_{1/2}$ wider Erwarten aufgrund verminderter Nutzung des Faktors „Aufgabendienliche Kovariation“ reduziert. Infolge der Fahrradbelastung zeigte sich weder bzgl. des AZAN noch bzgl. der Trefferleistung ein Unterschied bzw. eine unterschiedliche Veränderung gegenüber der unbelasteten Bedingung. Die Fahrradbelastung führt damit nicht zu der erwarteten Steigerung des AZAN. Auch die Trefferleistung ist infolge der Fahrradbelastung nicht beeinflusst. Für die Bedingungen „Handkurbel“ und „Hantel“ waren keine AZAN-Effekte infolge der Belastung festzustellen. Die hervorgerufenen neuromuskulären Beanspruchungen gingen jedoch mit einer verminderten Trefferleistung unter beiden Belastungsbedingungen einher, wobei sich unter der Bedingung „Handkurbel“ über die folgenden Wurfserienblöcke nach Belastung wieder eine Verbesserung der Trefferleistung zeigte.

Für das geplante Lernexperiment kann somit festgehalten werden:

- Um die Effekte eines belastungsbedingt erhöhten AZAN überprüfen zu können, muss eine andere Belastung resp. Belastungsstruktur gewählt werden, da die Fahrradbelastung nicht zu einer weiteren (belastungsbedingten) Erhöhung des AZAN gegenüber der unbelasteten Kontrollbedingung führte.
- Die beiden induzierten Handkurbel- und Hantelbelastungen führen zu einer Verringerung der Trefferleistung. Es sind damit zwei Belastungen identifiziert, die im Lernexperiment eingesetzt werden können, um eine verminderte Aneignungsleistung hervorzurufen, und zu prüfen, wie sich diese auf die Lernleistung auswirkt.

Damit können die beiden in Kapitel A14.2 formulierten allgemeinen Forschungshypothesen als bewährt angesehen werden:

- Konditionelle Belastungen, die erschöpfende muskelgruppenspezifische neuromuskuläre Beanspruchungen bewirken, verringern die Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen.
- Konditionelle Belastungen, die die aufgabenspezifische Muskulatur nicht beanspruchen, führen zu keiner Veränderung der Trefferleistung bei trefferorientierten Wurfbewegungen.

4 Hauptexperiment 2:

Effekte konditioneller Belastungen auf die Aneignungsleistung und die Lernleistung bei einer trefferorientierten Wurfbewegung

In dieser Untersuchung sollen die beiden letzten der in Kapitel A14.2 formulierten allgemeinen Forschungshypothesen einer empirischen Prüfung unterzogen werden. Konkret verfolgt das zweite Hauptexperiment die Zielstellung zu überprüfen, welche Effekte neuromuskuläre und zentralnervöse Beanspruchungen während der Aneignungsphase einer Bewegungsaufgabe a) auf die Aneignungsleistung, b) auf die Lernleistung und c) auf eine Belastungstransferleistung haben. Des Weiteren soll ermittelt werden, wie hoch der Beitrag der einzelnen wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung ist. Zur weiteren Exploration der Befunde werden auch in diesem Experiment wieder serienbezogene Parameter herangezogen.

4.1 Methode

4.1.1 Die motorische Aufgabe

Die in diesem Experiment eingesetzte Lernaufgabe ist der „Virtuelle Dartwurf“, der bereits im ersten Hauptexperiment als Kriteriumsaufgabe ausgewählt wurde. Die Beschreibung dieser Aufgabe findet sich in den Kapiteln A9.3 und B3.1.1.

4.1.2 Die abhängigen Variablen und ihre Operationalisierung

Die abhängigen Variablen dieser Untersuchung sind:

- a) Die Trefferleistung L [cm]:

Diese wird berechnet als Mittelwerte der absoluten Abweichungen in einem Wurfblock.

- b) Die Beiträge der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung [cm]:

Die Beiträge der einzelnen Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung zwischen zwei Wurfblöcken werden wie gehabt mit dem Berechnungsverfahren von MÜLLER (1997a; 2000; vgl. auch Kapitel B1.1) ermittelt und mit den gleichen

Bezeichnungen (also d_{Kova} , d_{Stabi} und $d_{Rauschen}$) versehen. In den Abbildungen finden sich wieder die kürzeren Bezeichnungen dK, dS und dR.

- c) Die Veränderung der Flimmerverschmelzungsfrequenz dFVF [Hz]:
Diese wird wie in Hauptexperiment 1 operationalisiert über die Differenz zwischen der FVF zu einem bestimmten Messzeitpunkt und der FVF-Baseline ($FVF_{\text{Messzeitpunkt}} - FVF_{\text{Baseline}}$).
- d) Serienbezogene kinematische Parameter werden ebenfalls herangezogen, um die Befunde hinsichtlich der Veränderung der Trefferleistung detaillierter beschreiben zu können.

An dieser Stelle bedarf es Erläuterung, warum in diesem Experiment die Trefferleistung als abhängige Variable herangezogen wird und nicht die Veränderung der Trefferleistung gegenüber dem Ausgangsniveau, also die relative Trefferleistung, wie in Experiment 1. Selbst wenn sich zwei Stichproben hinsichtlich der abhängigen Variablen zum Ausgangsniveau nicht *signifikant* unterscheiden, ist jedoch in den seltensten Fällen davon auszugehen, dass die beiden Stichproben eine gleiche Ausgangsleistung aufweisen. Gewisse Stichprobenunterschiede werden auch trotz Anwendung entsprechender untersuchungsmethodischer Verfahren nicht auszuschließen sein. Im ersten Experiment war es unproblematisch, die relative Trefferleistung heranzuziehen. Es ging primär darum, die Effekte einer bestimmten Belastung auf die Trefferleistung nachzuweisen, und dies nach 640 Übungswürfen über eine vorausgegangene Aneignungsphase, also wenn bereits ein relativ hohes Leistungsniveau erreicht ist: Ein Deckeneffekt³² in dem Sinne, dass die Leistung so gering ist, dass eine induzierte Belastung sich nicht in einer weiteren Verschlechterung zeigt, sollte daher auszuschließen sein. In diesem Fall kann das Differenzmaß herangezogen werden, da hierüber lediglich eine Veränderung überprüft werden sollte, wobei die Größe dieser Veränderung bezogen auf die absolute Trefferleistung nicht von vorrangiger Bedeutung war. Es sollte lediglich gezeigt werden, dass bestimmte Belastungen prinzipiell geeignet sind, die Trefferleistung zu reduzieren. Sekundär wurde in diesem Experiment die Verbesserung der Trefferleistung über die Aneignungsphase untersucht, jedoch für die gesamte Stichprobe, ohne diese jedoch mit einer anderen Stichprobe zu vergleichen. Auch in diesem Fall sehe ich das Heranziehen der relativen Trefferleistung zur Operationalisierung als gerechtfertigt an: Es sollte lediglich sicher gestellt werden, dass eine ausreichende Leistungssteigerung erzielt wurde, um anschließend Belastungswirkungen in der Trefferleistung prinzipiell nachweisen zu können. Hier

³² In dem vorliegenden Falle ist dies ein Deckeneffekt, weil eine schlechtere Leistung mit höheren Werten auf der Skala einhergeht.

war die absolute Verbesserung der Trefferleistung ebenfalls nicht von vorrangiger Bedeutung. Für Lernexperimente allerdings sieht es SCHMIDT (1988, 370) als nicht gerechtfertigt an, die anfänglichen Leistungsdifferenzen zweier Stichproben zu korrigieren, indem man die anfängliche Differenz von der Differenz zu späteren Messzeitpunkten abzieht. Eine sinnvolle Interpretation des relativen Lerngewinns wäre kaum möglich, da die Sensitivität der Leistungsskala gegenüber Veränderungen in der internen Kapazität an verschiedenen Orten der Leistungsskala unterschiedlich ist (vgl. ebd.). Nichts anderes würde passieren, wenn an dieser Stelle die relative Trefferleistung herangezogen würde, da hierdurch automatisch die Leistungsunterschiede im Ausgangsniveau nivelliert würden. Zudem kann für das geplante Experiment nicht ausgeschlossen werden, dass zu Beginn der Übungsphase, wenn die Ausführungsleistungen noch gering sind, die induzierte konditionelle Belastung sich aufgrund eines Deckeneffekts nicht in einer veränderten Ausführungsleistung niederschlägt. Letzteres mag nur ein reines Darstellungsproblem sein und damit kein hartes Argument, jedoch ginge dem Leser diese Information durch eine Darstellung von Leistungsdifferenzen ohne zusätzliche Erläuterungen dazu verloren. Aufgrund der vorher genannten gewichtigen Argumente wird in dieser Untersuchung die absolute Trefferleistung als abhängige Variable herangezogen. Die Beiträge der Faktoren können gemäß dem Berechnungsverfahren nur als Differenzen zu einem individuellen Vergleichswert – hier dem Ausgangsniveau der Trefferleistung – berechnet werden.

4.1.3 Die konditionellen Belastungen

Da sich in Experiment 1 gezeigt hat, dass Handkurbel und Hantelbelastung in der gewählten Struktur gleichermaßen zu einer Verminderung der Trefferleistung führen, die über zehn Wurfserien nach dem Belastungstreatment nachweisbar ist, werden beide Belastungen auch in diesem Experiment wieder induziert, wie in Kapitel B3.1.3.3.2 resp. B3.1.3.3.3 bereits beschrieben. Desgleichen werden pro Wurfblock wiederum zehn Wurfserien absolviert. Die in Experiment 1 gewählte Fahrradbelastung führte jedoch nicht zu der erwarteten AZAN-Erhöhung im Sinne einer Wirkungsursache um die Effekte eines belastungsbedingt erhöhten AZAN auf die Ausführungsleistung ermittelt zu können. Daher wurde entschieden, eine andere Belastungsstruktur zu wählen: Zu Beginn soll wiederum eine Mittelzeitausdauerbelastung absolviert werden, anders als in Experiment 1 sollen jedoch parallel zu den weiteren Belastungszeitpunkten der Belastungsgruppen HK und HT ebenfalls Kurzzeitausdauerbelastungen auf dem Fahrrad absolviert werden. Wie bei der Handkurbelbelastung sollen dabei 150% der Stufentestmaximalleistung bis zum Abbruch erbracht werden. Dies sollte bei 90-100 U/min erfolgen, Abbruchkriterium war das

Unterschreiten von 85 U/min. Die Entscheidung für diese Belastungsstruktur wird damit gerechtfertigt, dass die kurzen maximalen Belastungen in der gewählten Belastungsstruktur zu Anstiegen der FVF infolge der durch diese Belastung hervorgerufenen verzögerten Ammoniak-Erhöhung und deren Wirkung auf den GABA-Stoffwechsel (GABA-Mangel) führen könnten. Dadurch wäre ein Anstieg der FVF wahrscheinlich (vgl. dazu ausführlicher WIEMEYER 1990, 85).

Die Durchführung der Stufentests am Handkurbel- bzw. auf dem Fahrradergometer und die Durchführung der isometrischen Maximalkraftmessung erfolgte wie in Kapitel B3.1.3.1 bzw. B3.1.3.2 beschrieben.

4.1.4 Versuchspersonen

An dieser Untersuchung nahmen 40, zum überwiegenden Teil sporttreibende Erwachsene (21 weiblich, 19 männlich) teil. 19 Versuchspersonen waren Studierende des Sportwissenschaftlichen Institutes der Universität des Saarlandes, zwei weitere Mitarbeiter des Instituts. Das Alter der Probanden lag zwischen 19 und 52 Jahren ($\bar{x} = 26,15$ Jahre, $s = 5,53$ Jahre). Die Teilnahme erfolgte auch in dieser Untersuchung auf freiwilliger Basis und ohne Bezahlung eines Honorars. Die Anwerbung der Versuchspersonen erfolgte durch den Versuchsleiter persönlich.

Um eine Einschätzung der sportlichen Aktivitäten der Versuchspersonen sowie ihrer wurfspezifischen Expertise vornehmen zu können, sollten die Versuchspersonen einen Fragebogen beantworten, wie dies bereits im ersten Experiment verlangt wurde (vgl. Anhang 1). Statistische Kennwerte zu den wichtigsten Items sehen sie in Tabelle 47.

Tabelle 47: Übersicht über die sportlichen Aktivitäten der Versuchspersonen aus Experiment 2.

Sport pro Woche in Stunden (1 h = 45 min)		Ausübung einer Sportart, in der eine Wurfbewegung integraler Bestandteil ist	
Stunden pro Woche	n	Antwort	n
Weniger als 4	22	Handball	4
4 bis 8	10	Basketball	2
9 bis 12	8	Leichtathletik	2
mehr als 12	3		
Ausübung der Sportart Dart		Wie oft wird das Dartspiel ausgeübt	
Antwort	n	Antwort	n
ja	16	Mehrmals pro Woche	0
nein	24	Einmal pro Woche	1
		Einmal im Monat	3
		Weniger als einmal im Monat	12
Ausübung einer Sportart, in der die Armmuskulatur beansprucht wird		Wöchentliches Training in dieser Sportart	
Antwort	n	Anzahl	n
ja	21	einmal	11
nein	19	2 bis 3 mal	9
		4 bis 6 mal	1
		mehr als 6 mal	0
Ausübung einer Ausdauersportart		Ausübung anderer Sportarten (z.B. Fußball, Tennis, u.a.)	
Antwort	n	Antwort	n
ja	14	ja	20
nein	25	nein	19
Keine Angabe	1	Keine Angabe	1

Die Leistungsparameter der jeweiligen Experimentalgruppen aus den Stufentests bzw. der isometrischen Maximalkraftmessung sind Tabelle 48 zu entnehmen.

Unterschiede hinsichtlich ausgewählter personaler Variablen zwischen den Stichproben konnten nicht festgestellt werden (vgl. Tabelle 49). Eine Ausnahme bildet die „Ausübung anderer Sportarten“, für die die Annahme eines Nicht-Unterschiedes nicht aufrecht erhalten werden konnte. Insgesamt ist jedoch von einer guten Übereinstimmung der vier Stichproben auszugehen.

Tabelle 48: Leistungsparameter der Versuchspersonen aus Experiment 2.

	Fahrradergometrie		Handkurbelergometrie		Hantel
	P_{\max} [W]	HF_{\max} [min^{-1}]	P_{\max} [W]	HF_{\max} [min^{-1}]	F_{\max} [N]
$\bar{x} \pm s$	226,0 \pm 56,6	182,4 \pm 8,6	108,7 \pm 45,9	175,9 \pm 14,8	9,7 \pm 2,4
Minimum	160	168	70	150	5,3
Maximum	300	201	190	198	12,9

Tabelle 49: Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen hinsichtlich ausgewählter Variablen.

	Prüfgröße	df	p
Geschlecht	$\chi^2 = 4,311$	3	.230
Alter	$F = 1,313$	3	.285
Stunden Sport pro Woche	$F = 1,568$	3	.214
Sportart mit Wurfbewegung	$\chi^2 = 4,311$	3	.741
Ausübung der Sportart Dart	$\chi^2 = 2,500$	3	.475
Ausübung einer Sportart mit Beanspruchung der Armmuskulatur	$\chi^2 = 1,103$	3	.776
Ausübung einer Ausdauersportart	$\chi^2 = 6,651$	6	.354
Ausübung anderer Sportarten	$\chi^2 = 12,168$	6	.058

4.1.5 Untersuchungsablauf

Für die Untersuchung wurden insgesamt vier Termine angesetzt. Der erste Termin diente dazu, je nach Zuordnung zu einer Experimentalgruppe, bestimmte Leistungsparameter (Stufentest-Maximalleistung sowie maximale Herzfrequenz an Fahrrad- und/oder Handkurbelergometer bzw. isometrische Maximalkraft) und die FVF-Baseline zu ermitteln. An den folgenden beiden Terminen galt es, den virtuellen Dartwurf nach dem Setzen eines bestimmten Belastungstreatments (Belastungsgruppen) bzw. ohne dieses (Gruppe „Ohne Belastung“) anzueignen. Am letzten Termin war dann der virtuelle Dartwurf in zwei Wurfböcken ohne Belastung zu absolvieren, was dazu diente, die Lernleistung zu ermitteln. Anschließend war dann in drei Wurfböcken nach dem Induzieren spezifischer Belastungen nochmals der virtuelle Dartwurf auszuführen.

Der erste Untersuchungstermin diente zunächst der FVF-Baselinebestimmung. Im Anschluss daran erfolgte – je nach Zugehörigkeit zu einer Versuchsgruppe – ein Stufentest auf dem Fahrradergometer und/oder ein Stufentest am Handkurbelergometer und/oder ein isometrischer Maximalkrafttest. Am zweiten Untersuchungstermin wurde zunächst ein Wurfblock (zehn Wurfserien à acht Würfe) absolviert, der das Ausgangsniveau bzgl. der Trefferleistung definierte. Im Anschluss wurden nach einem bestimmten Kalkül weitere fünf Aneignungsblöcke verlangt, die die einzelnen Belastungsgruppen nach dem jeweiligen Belastungstreatment durchzuführen hatten. Die Gruppe ohne Belastungstreatment hatte zu diesen Zeitpunkten eine Pause. Für jede Versuchsgruppe wurden zudem nach einem festen Zeitplan FVF-Messungen durchgeführt. Die Festlegung dieser Messzeitpunkte erfolgte wie in Experiment 1 unter der Prämisse, dass zwischen den einzelnen Messungen maximal zehn Minuten liegen sollten, so dass ein tendenzieller Verlauf der FVF über den Termin zu beschreiben war. Der dritte Termin war mit dem zweiten Termin nahezu identisch; es fehlte lediglich der erste Wurfblock des

zweiten Termins, der eben zur Feststellung des Ausgangsniveaus diene. Am vierten Termin wurde zunächst eine FVF-Messung durchgeführt, bevor alle Gruppen zwei Wurfblöcke ohne vorheriges Belastungstreatment zu absolvieren hatten. Diese Wurfblöcke dienten zur Feststellung der Behaltensleistung. Im Anschluss daran waren dann drei Wurfblöcke unter neuromuskulärer Beanspruchung zu absolvieren. Diese dienten der Beantwortung der Frage, ob eine Technik, die unter neuromuskulärer Beanspruchung angeeignet wurde, gerade unter solchen Beanspruchungszuständen reproduziert, Leistungsvorteile bringt. Die beiden Gruppen „Ohne Belastung“ und „Fahrradbelastung“ sollen zusammengefasst und gegen die zusammengefasste Gruppe aus „Handkurbelbelastung“ und „Hantelbelastung“ verglichen werden. Dazu wird jeweils einem Teil der neu gebildeten Gruppen entweder eine Handkurbelbelastung oder eine Hantelbelastung induziert, die – wie wir aus Experiment 1 wissen – zu negativen Effekten auf die Trefferleistung führen.

Tabelle 50: Untersuchungsablauf des zweiten Hauptexperimentes für die unterschiedlichen Belastungsgruppen. (Für die beiden Aneignungstermine wurde der Untersuchungsablauf gemeinsam dargestellt, da diese sich lediglich darin unterscheiden, dass zum **zweiten Aneignungstermin** der Wurfblock Ausgangsniveau fehlt. Die Indizes der Wurfblöcke, der FVF-Messzeitpunkte und der Belastungen sind jeweils für den zweiten Aneignungstermin in **blau** gehalten und in Klammern angegeben.)

KG	FR	HK	HT
1. Aneignungstermin [bzw 2. Aneignungstermin]			
FVF-Messung Ausgangsniveau 1. Termin (FVF ₁) [bzw 2. Termin (FVF ₄)]			
Wurfblock Ausgangsniveau (WB _{AN}) [fehlt beim 2. Aneignungstermin]			
10 min Pause	Belastung 1 [8]	Belastung 1 [8]	Belastung 1 [8]
Aneignungs-Wurfblock 1 (WB _{A1}) [6 (WB _{A6})]			
1 min Pause	Belastung 2 [9]	Belastung 2 [9]	Belastung 2 [9]
Aneignungs-Wurfblock 2 (WB _{A2}) [7 (WB _{A7})]			
1 min Pause	Belastung 3 [10]	Belastung 3 [10]	Belastung 3 [10]
Aneignungs-Wurfblock 3 (WB _{A3}) [8 (WB _{A8})]			
FVF-Messung 2 (FVF ₂) [5 (FVF ₅)]			
3 min Pause	Belastung 4 [11]	Belastung 4 [11]	Belastung 4 [11]
	30 sec Pause	30 sec Pause	30 sec Pause
	Belastung 5 [12]	Belastung 5 [12]	Belastung 5 [12]
	30 sec Pause	30 sec Pause	30 sec Pause
3 min Pause	Belastung 6 [13]	Belastung 6 [13]	Belastung 6 [13]
	Aneignungs-Wurfblock 4 (WB _{A4}) [9 (WB _{A9})]		
	1 min Pause	Belastung 7 [14]	Belastung 7 [14]
	Aneignungs-Wurfblock 5 (WB _{A5}) [10 (WB _{A10})]		
FVF-Messung 3 (FVF ₃) [6 (FVF ₆)]			
Termin Behalten/Belastungstransfer			
FVF-Messung Ausgangsniveau 3. Termin (FVF ₇)			
Behaltens-Wurfblock 1 (WB _{B1})			
1 Minute Pause			
Behaltens-Wurfblock 2 (WB _{B2})			
Belastung 14			
Transfer-Wurfblock 1 (WB _{T1})			
Belastung 15			
Transfer-Wurfblock 2 (WB _{T2})			
FVF-Messung 8 (FVF ₈)			
Belastung 16			
30 sec Pause			
Belastung 17			
30 sec Pause			
Belastung 18			
Transfer-Wurfblock 3 (WB _{T3})			
FVF-Messung 9 (FVF ₉)			

4.1.6 Versuchsplan

Den experimentellen Überlegungen liegt bzgl. der abhängigen Variablen der Trefferleistung (L , d_{Kova} , d_{Stabi} , $d_{Rauschen}$) ein zweifaktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung auf einem Faktor zugrunde:

- **Belastungsgruppe** (Gruppierungsfaktor, vierfach gestuft): Ohne Belastung (OB), Fahrradbelastung (FR), Handkurbelbelastung (HK), Hantelbelastung (HT).
- **Wurfblock** (Messwiederholungsfaktor, sechzehnfach gestuft): Wurfblock Ausgangsniveau (WB_{AN}), zehn Wurfblöcke im direkten Anschluss an ein vorhergehendes Belastungstreatment (WB_{A1} bis WB_{A10}), zwei Wurfblöcke zum Behaltenstest (WB_{B1} und WB_{B2}) und drei Wurfblöcke als Belastungstransfer nach einem Belastungstreatment (WB_{T1} bis WB_{T3}).

Zur Bearbeitung der Fragestellung, ob das Aneignen einer Bewegung unter neuromuskulären Beanspruchungszuständen genau dann von Vorteil ist, wenn diese Bewegung zu einem späteren Zeitpunkt wieder unter den gleichen Beanspruchungszuständen abgefordert wird, erfolgt zur inferenzstatistischen Auswertung eine geringfügige Abweichung von diesem Versuchsplan: über die vier Wurfblöcke von WB_{B2} bis WB_{T3} werden die während der Aneignungsphase nicht neuromuskulär beanspruchten Gruppen OB und FR zur neuen Gruppe OB/FR zusammengefasst und der während der Aneignungsphase neuromuskulär beanspruchten Gruppe HK/HT, die sich aus den Belastungsgruppen HK und HT zusammensetzt, gegenüber gestellt. Des Weiteren werden die drei Transfer-Wurfblöcke WB_{T1} bis WB_{T3} über ihren Mittelwert zusammengefasst (dieser Block wird dann nur mit WB_T bezeichnet, ohne nummerierende Indizes), so dass in dieser Phase zur statistischen Auswertung ein 2x2-Design vorliegt. Der zweite Behaltens-Wurfblock WB_{B2} dient damit als Referenzwurfblock für die anschließenden Wurfblöcke unter Belastung.

Bzgl. der methodisch abhängigen Variablen FVF als Indikator des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus liegt den experimentellen Überlegungen ebenfalls ein zweifaktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung auf einem Faktor zugrunde:

- **Belastungsgruppe** (Gruppierungsfaktor, vierfach gestuft): Die Stufungen entsprechen denen der abhängigen Variablen der Trefferleistung (siehe oben).
- **Messzeitpunkt** (Messwiederholungsfaktor, neunfach gestuft): jeweils drei FVF-Messzeitpunkte zu den beiden Aneignungsterminen und zum Termin

„Behalten/Belastungstransfer“, die der zeitlichen Aufeinanderfolge entsprechend von FVF₁ bis FVF₉ bezeichnet werden.

Die Verteilung der einzelnen Probanden in die jeweilige Belastungsgruppe erfolgte über Randomisierung. Ob diese erfolgreich war, wurde jeweils mit methodischen Nicht-Unterschiedshypothesen zwischen den zu betrachtenden Belastungsgruppen überprüft. Bei

Tabelle 51: Design des Versuchsplans für die abhängigen Variablen der Trefferleistung.

Zweifaktorieller Versuchsplan mit Randomisierung auf dem Faktor A (p = 4) und Wiederholungsmessung auf dem Faktor B (q = 16). Design RW-4 x 16	
	Faktor B (Wurfblock)
Faktor A (Belastungsgruppe)	B ₁ , B ₂ ,....., B ₁₆
A ₁ (Ohne Belastung, OB)	Y _{1 1} , Y _{1 2} ,.....Y _{1 16}
A ₂ (Fahrradbelastung, FR)	Y _{2 1} , Y _{2 2} ,.....Y _{2 16}
A ₃ (Handkurbelbelastung, HK)	Y _{3 1} , Y _{3 2} ,.....Y _{3 16}
A ₄ (Hantelbelastung, HT)	Y _{4 1} , Y _{4 2} ,.....Y _{4 16}

dem experimentellen Design handelt es sich um einen zweifaktoriellen Versuchsplan mit Randomisierung auf dem Faktor „Belastungsgruppe“ und Wiederholungsmessung auf dem Faktor

„Wurfblock“ (siehe Tabelle 51³³; zur Terminologie vgl. SARRIS 1992).

Für die zusätzlich zur Auswertung herangezogenen serienbezogenen Parameter liegt ebenfalls wie für die abhängigen Variablen der Trefferleistung das gleiche 4 x 16-Design vor. In diesem Fall besteht daher kein Bedarf, wie in Experiment 1, sie selbstständig zu kennzeichnen. Es wird in diesem Experiment dann bspw. von den serienbezogenen Parametern inwurfblock WB_{A8} gesprochen. Diese wurden dann über die zehn Wurfserien des entsprechenden Wurfblocks gemittelt.

³³ Hier sei explizit darauf hingewiesen, dass die tabellarische Veranschaulichung des Untersuchungsdesigns sich auf die abhängigen Variablen Trefferleistung bzw. deren Veränderung sowie den Beiträgen der wurfrelevanten Faktoren an der Veränderung der Trefferleistung bezieht.

4.2 Operationale Hypothesen

4.2.1 Hypothesen zum allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveau (AZAN)

4.2.1.1 Hypothese zur Baselinemessung

Mit gleicher Begründung wie bereits in Kapitel B3.2.1.1 erläutert und aufgrund des Ergebnisses der Prüfung der Hypothese H_{FVF} 0.1 aus Experiment 1 (vgl. Kapitel B3.4.2.1), wird folgende Nullhypothese geprüft:

H_{FVF} 0.1: Die absoluten FVF-Werte verändern sich nicht während der Baselinebestimmung.

4.2.1.2 Hypothesen zur Zweck- bzw. Wirkungsursache

Da unter der Belastungsbedingung OB keine konditionelle Belastung gesetzt wird, die zu einer Veränderung des AZAN im Sinne einer Wirkungsursache führen kann, wird keine FVF-Veränderung erwartet. Gleichzeitig existieren keine begründeten Erwartungen dazu, wie sich die gewählte motorische Aufgabe im Sinne einer Zweckursache auf die FVF-Dynamik auswirkt, die sich in einer Veränderung der FVF zum Messzeitpunkt „Ausgangsniveau“ (FVF_1 bei Aneignungstermin 1 bzw. FVF_4 bei Aneignungstermin 2) gegenüber der Baselinemessung zeigen sollte. Zwar konnte in Experiment 1 gezeigt werden, dass die FVF bei der ersten Messung zu den jeweiligen Experimentalterminen gegenüber der Baselinemessung erhöht war (vgl. Kapitel B3.4.2.2), jedoch lagen dazwischen zwei Untersuchungstermine, die dazu dienten, die Bewegungsaufgabe anzueignen, und an denen keine FVF-Messung vorgenommen wurde. Die Erhöhung der FVF im Sinne einer Zweckursache könnte also entweder bereits vor der erstmaligen Durchführung der motorischen Aufgabe auftreten oder erst nach dem diese zumindest einmal in der Experimentalstruktur durchgeführt wurde. Da hierüber keine gerichtete Erwartung vorliegt, werden folgende Nullhypothesen geprüft:

H_{FVF} 1.1a: Die dFVF der Gruppe OB ist zum Messzeitpunkt FVF_1 nicht von Null verschieden.

H_{FVF} 1.1b: - wie Hypothese H_{FVF} 1.1a, jedoch bzgl. Messzeitpunkt FVF_4 -

H_{FVF} 1.2a: Die dFVF-Werte der Gruppe OB verändern sich über die Messzeitpunkte FVF_1 bis FVF_3 nicht.

H_{FVF} 1.2b: - wie Hypothese H_{FVF} 1.2a, jedoch bzgl. Messzeitpunkte FVF_4 bis FVF_6 -

In Experiment 1 zeigten sich zum FVF-Messzeitpunkt FVF_1 keine Unterschiede zwischen den beiden Belastungsbedingungen OB und FR und es gab auch keine Anhaltspunkte dafür, dass die zu absolvierende Belastung im Sinne einer Zweckursache bereits eine Feedforward-Erhöhung des AZAN bedingt. Weiterhin führte die induzierte Fahrradbelastung nicht wie erwartet im Sinne einer Wirkungsursache zu einer weiteren Erhöhung des AZAN über die beschriebene Steigerung unter der Bedingung OB hinaus. Es ist jedoch möglich, dass diese im Sinne einer Zweckursache zu interpretierende Steigerung noch nicht zum ersten Aneignungstermin auftritt, sondern erst nachdem sich die Vpn bereits einige Zeit mit der Aufgabe vertraut gemacht haben. Die Fahrradbelastung könnte daher in diesem Fall sowohl zu einer Steigerung des AZAN gegenüber der Kontrollgruppe im Sinne einer Zweckursache führen, was sich in einem Unterschied zum FVF-Ausgangsniveau zeigen sollte, als auch zu einer Steigerung im Sinne einer Wirkungsursache, was sich zu den folgenden FVF-Messzeitpunkten bemerkbar machen müsste. Ob dies die Mittelzeitausdauer hervorrufen kann, wie aufgrund vorliegender empirischer Daten angenommen werden kann (vgl. dazu Kapitel A8.1.2), oder ob der Befund aus Experiment 1, dass diese Belastung nicht zu einer zusätzlichen AZAN-Erhöhung führt, repliziert werden kann, muss erst überprüft werden. Sollte der Befund aus Experiment 1 repliziert werden, könnten dennoch die in diesem Experiment nach der Mittelzeitausdauerbelastung jeweils induzierten Kurzzeitausdauerbelastungen, wie beschrieben, ebenfalls einen FVF-Anstieg erwarten lassen. Es werden daher folgende Hypothesen formuliert:

H_{FVF} 2.1a: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und FR unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF_1 nicht.

H_{FVF} 2.1b: - wie Hypothese H_{FVF} 2.1a, jedoch bzgl. Messzeitpunkt FVF_4 -

H_{FVF} 2.2a: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und FR verändern sich über die Messzeitpunkte FVF_1 bis FVF_3 unterschiedlich.

Die dFVF-Werte der Gruppe FR sind zu den Messzeitpunkten FVF_2 und FVF_3 höher als die dFVF-Werte der Gruppe OB.

H_{FVF} 2.2b: - wie Hypothese H_{FVF} 2.2a, jedoch bzgl. Messzeitpunkte FVF_4 bis FVF_6 . bzw. FVF_5 und FVF_6 -

Aufgrund der Ergebnisse aus Experiment 1 wird angenommen, dass weder die zu absolvierende Handkurbelbelastung noch die Hantelbelastung im Sinne einer Zweckursache oder einer Wirkungsursache zu einer Veränderung des AZAN führen. Für die Handkurbelbelastung gilt es zudem zu prüfen, ob die nicht erwartete Erhöhung des AZAN zum

Ausgangsniveau repliziert werden kann, oder ob es sich hier um einen zufälligen Effekt handelte. Bzgl. der dFVF-Werte der Gruppen OB und HK bzw. HT wird Folgendes erwartet:

H_{FVF} 3.1a: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HK unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₁ nicht.

H_{FVF} 3.1b: - wie Hypothese H_{FVF} 3.1a, jedoch bzgl. Messzeitpunkt FVF₄ -

H_{FVF} 3.2a: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HK verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₃ nicht unterschiedlich.

H_{FVF} 3.2b: - wie Hypothese H_{FVF} 3.2a, jedoch bzgl. Messzeitpunkte FVF₄ bis FVF₆ -

H_{FVF} 4.1a: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HT unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₁ nicht.

H_{FVF} 4.1b: - wie Hypothese H_{FVF} 4.1a, jedoch bzgl. Messzeitpunkt FVF₄ -

H_{FVF} 4.2a: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HT verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₃ nicht unterschiedlich.

H_{FVF} 4.2b: - wie Hypothese H_{FVF} 4.2a, jedoch bzgl. Messzeitpunkte FVF₄ bis FVF₆ -

4.2.2 Hypothesen zur Trefferleistung

4.2.2.1 Hypothesen zum Ausgangsniveau

Um sicherzustellen, dass die durchgeführte Randomisierung dazu geführt hat, dass sich die vier Stichproben hinsichtlich der abhängigen Variablen Trefferleistung nicht unterscheiden, wird folgende Hypothese überprüft:

H_L 0.1: Die Trefferleistungen der vier Belastungsgruppen unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{AN}.

4.2.2.2 Hypothesen zur Belastungsgruppe „Ohne Belastung“ (OB)

Basierend auf vorliegenden experimentellen Befunden zur Verbesserung der Trefferleistung durch Übung (vgl. Kapitel A11) und den eigenen Ergebnissen aus Experiment 1 bzgl. der Verbesserung der Trefferleistung über die Aneignungsphase (vgl. Kapitel B3.4.3.1) wird angenommen, dass die Gruppe OB über die Wurfblöcke der Aneignungsphase ihre Trefferleistung verbessert. Gleichzeitig wird erwartet, dass die Verbesserung der Trefferleistung

über den Behaltenszeitraum von einer Woche behaltensstabil ist, d.h. dass gelernt wurde. Es sollen daher folgende Hypothesen geprüft werden:

H_L 1.1: Die Trefferleistung der Gruppe OB verbessert sich vom Wurfblock WB_{AN} zum Wurfblock WB_{A10}.

H_L 1.2: Die Trefferleistung der Gruppe OB verändert sich von Wurfblock WB_{A10} zu Wurfblock WB_{B1} nicht.

4.2.2.3 Hypothesen zur Belastungsgruppe „Fahrrad“ (FR)

Zunächst ist anzunehmen, dass sich die beiden Belastungsgruppen OB und FR aufgrund der Randomisierung der Untersuchungsgruppen im Wurfblock WB_{AN} nicht in ihrer Trefferleistung unterscheiden. Zunächst einmal gilt es zu ermitteln, ob die Fahrradbelastung überhaupt zu einer AZAN-Erhöhung führt. Wie sich ein erhöhtes AZAN dann auf die Ausführungs- und die Lernleistung der Wurf Aufgabe auswirkt, hängt von dem Zusammenhang dieser Variablen mit dem AZAN ab. Des Weiteren beansprucht die Fahrradbelastung keine wurfrelevante Muskelgruppe neuromuskulär. Es sind daher keine negativen Effekte auf Aneignungs- und Lernleistung zu erwarten.

H_L 2.0: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich im Wurfblock WB_{AN} nicht.

H_L 2.1: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich von Wurfblock WB_{A1} zu Wurfblock WB_{A10} nicht.

H_L 2.2: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich im Wurfblock WB_{B1} nicht.

4.2.2.4 Hypothesen zur Belastungsgruppe „Handkurbel“ (HK)

Mit gleicher Begründung wie oben, wird kein Unterschied zwischen den beiden Belastungsgruppen OB und HK zum Wurfblock WB_{AN} erwartet. Aufgrund der Befunde aus Experiment 1 kann begründet die Erwartung formuliert werden, dass die infolge der Handkurbelbelastung resultierenden neuromuskulären Beanspruchungen die Aneignungsleistung negativ beeinflussen. Die Lernleistung sollte dadurch jedoch nicht beeinflusst sein, wie empirische Befunde zum Drei-Faktoren-Modell zeigen konnten (vgl. Kapitel A8.2.2). Vor diesem Hintergrund werden folgende Hypothesen formuliert:

H_L 3.0: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HK unterscheiden sich im Wurfblock WB_{AN} nicht.

H_L 3.1: Die Trefferleistungen der Gruppe HK sind über die Wurfböcke von Wurfblock WB_{A1} zu Wurfblock WB_{A10} geringer als die der Gruppe OB.

H_L 3.2: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HK unterscheiden sich im Wurfblock WB_{B1} nicht.

4.2.2.5 Hypothesen zur Belastungsgruppe „Hantel“ (HT)

Für die Aneignungs- und Lernleistungen der Belastungsgruppe HT ergeben sich mit den gleichen Begründungen auch die gleichen Annahmen wie für die Belastungsgruppe HK.

H_L 4.0: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HT unterscheiden sich im Wurfblock WB_{AN} nicht.

H_L 4.1: Die Trefferleistungen der Gruppe HT sind über die Wurfböcke von Wurfblock WB_{A1} zu Wurfblock WB_{A10} geringer als die der Gruppe OB.

H_L 4.2: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HT unterscheiden sich im Wurfblock WB_{B1} nicht.

4.2.2.6 Hypothesen zum Belastungstransfer

Keine gerichteten Erwartungen bestehen bzgl. der Frage, ob das Aneignen einer Bewegung unter neuromuskulären Beanspruchungszuständen dann vorteilhaft ist, wenn diese Bewegung zu einem späteren Zeitpunkt unter genau den gleichen neuromuskulären Beanspruchungsbedingungen zu reproduzieren ist. In der trainingswissenschaftlichen Literatur finden sich Hinweise, dass es vor allem in späteren Lernstadien vorteilhaft sei, unter konditionellen Belastungseffekten eine Technik zu stabilisieren (vgl. z.B. GROSSER/NEUMAIER 1982; SCHNABEL 1987b). CHAMBERLIN/LEE (1993) weisen gar explizit darauf hin, dass viele sportliche Bewegungen in ermüdetem Zustand zu realisieren sind und fordern daher, einen Transfertest in ermüdetem Zustand. Wenn es dann einen spezifischen Transfer geben sollte, „could be predicted, that acquisition of a motor skill while fatigued would result in higher skill levels of performance when the skill is used during a game in a fatigued state“ (ebd., 223f.). Ungeachtet des problematischen Ermüdungsbegriffs, legen diese Aussagen nahe, dass es vorteilhaft sein könnte, eine Bewegung unter genau solchen Beanspruchungseffekten anzueignen, die bei der Realisierung unter Wettkampfbedingungen vorherrschen. Empirische

Befunde von OLIVIER (1996a) zeigen hingegen für das Parameter-Lernen bei einer Sprungaufgabe, dass das Absolvieren der Aneignungsphase unter neuromuskulären Beanspruchungsbedingungen hingegen keinen Einfluss auf die Ausführungsleistung bei einem Belastungstransfer hat, d.h. es existiert hinsichtlich der Leistung in diesem Belastungstransfer-Test kein Unterschied zu einer Gruppe, die die Aneignungsphase ohne diese neuromuskulären Beanspruchungsbedingungen absolvierte. Wie sich dies für die Kriteriums Aufgabe „trefferorientierte Wurfbewegungen“ verhält, gilt es zu prüfen. Es werden daher folgende Hypothesen formuliert:

H_L 5.0: Die Trefferleistungen der Gruppen OB/FR und HK/HT unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{B2}.

H_L 5.1: Die Trefferleistungen der Gruppen OB/FR und HK/HT verringern sich vom Wurfblock WB_{B2} zum Wurfblock WB_T nicht unterschiedlich.

4.3 Operationalisierung und Erfassung von Vorbelastungen

Wie bereits in Experiment 1 geschehen, werden als zusätzliche abhängige (Kontroll-) Variablen in Anlehnung an OLIVIER (1996a, 104) die Zeitpunkte sportlicher Belastungen und die Intensitäten der resultierenden Beanspruchungen ermittelt, die vor den vier Untersuchungsterminen liegen (vgl. ausführlicher Kapitel B3.3). Die Daten werden mittels des gleichen Fragebogens wie in Experiment 1 erfasst (vgl. Anhang 2).

Die inferenzstatistische Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass es zwischen den vier Belastungsbedingungen am ersten Untersuchungstermin (Bestimmung der FVF-Baseline und der benötigten Leistungsparameter, vgl. Kapitel B4.1.5) einen Unterschied hinsichtlich der allgemeinen körperlichen Vorbeanspruchung am Untersuchungstag selbst gibt (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $\chi^2_{(3)} = 6,480$, $p = .090$, $n = 40$). Hier zeigen die Gruppen OB und FR gleiche Vorbeanspruchungen, während für die Gruppe HT eine höhere Vorbeanspruchung festzustellen ist. Die höchste allgemeine körperliche Vorbeanspruchung liegt für Belastungsgruppe HK vor. Bezogen auf die spezifische Beanspruchung der Armmuskulatur zeigt sich ebenfalls ein Unterschied zwischen den vier Belastungsbedingungen hinsichtlich vorhergehender Beanspruchungen am Untersuchungstag selbst (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $\chi^2_{(3)} = 6,701$, $p = .082$, $n = 40$). Die Unterschiedlichkeit der Gruppen ist hier analog zur allgemeinen körperlichen Vorbeanspruchung. Hinsichtlich weiterer unterschiedlicher Vorbeanspruchungen einen Tag oder zwei Tage und länger vor dem ersten Untersuchungstermin ergeben sich keine Hinweise (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $.835 \geq p \geq .141$, $n = 40$). Für die beiden Aneignungstermine sind

zwei signifikante Unterschiede bzgl. der Vorbeanspruchungen der vier Belastungsgruppen am ersten Aneignungstermin festzustellen. Diese beziehen sich auf die Vorbelastungen einen Tag vor dem Untersuchungstag sowohl für die allgemeine körperliche Vorbeanspruchung (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $\chi^2_{(3)} = 8,066$, $p = .045$, $n = 40$), als auch für die spezifische Vorbeanspruchung der Armmuskulatur (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $\chi^2_{(3)} = 11,657$, $p = .009$, $n = 40$). Die geringste allgemeine körperliche Vorbeanspruchung zeigt sich für die Belastungsgruppe HK, gefolgt von den Gruppen HT und OB; die höchste allgemeine körperliche Vorbeanspruchung weist die Gruppe FR auf. Diese Reihenfolge gilt auch für die spezifische Vorbeanspruchung der Armmuskulatur einen Tag vor dem ersten Aneignungstermin mit einer Ausnahme: Hier weist die Belastungsgruppe HT die geringste Vorbeanspruchung auf, gefolgt von der Gruppe HK. Weitere Unterschiede bezüglich der Vorbeanspruchung können für die beiden Aneignungstermine nicht festgestellt werden (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $.735 \geq p \geq .108$, $n = 40$).

Für den letzten Untersuchungstermin „Behalten/Belastungstransfer“ können keine Unterschiede hinsichtlich vorangegangener Beanspruchungen konstatiert werden (KRUSKAL-WALLIS-H-Test, $.735 \geq p \geq .108$, $n = 38$). Inwiefern sich die festgestellten Vorbeanspruchungen auf das Experiment auswirken, soll an entsprechender Stelle diskutiert werden.

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Aneignungsphase und Behaltenstest

4.4.1.1 Belastungskennwerte

An dieser Stelle sollen zunächst wieder die statistischen Kennwerte bzgl. der Dauer der einzelnen Belastungen sowie der Dauer der zu absolvierenden Wurfblöcke dargestellt werden. Die deskriptiven statistischen Kennwerte der Belastungsdauern für die einzelnen Belastungen zeigt Tabelle 52.

Für die beiden Belastungsgruppen HK und HT wurde zusätzlich eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit dem Gruppierungsfaktor „Belastungsgruppe“ (zweifach gestuft: HK und HT) und den Messwiederholungsfaktoren „Belastungszeitpunkt“ (siebenfach gestuft: die sieben Belastungszeitpunkte pro Aneignungstermin) und „Aneignungstermin“ (zweifach gestuft: erster bzw. zweiter Aneignungstermin) durchgeführt. Es zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Belastungsgruppe“ ($F_{(1, 18)} = 4,934$; $p = .039^*$; $f = 0,52$): Die Handkurbelbelastung wird zu jedem der sieben Belastungszeitpunkte länger durchgeführt als die Hantelbelastung. Auch der Messwiederholungsfaktor „Belastungszeitpunkt“ wird signifikant ($F_{(6, 108)} = 64,101$; $\varepsilon = ,627$; $p_{\text{kor.}} = .000^{***}$; $f = 1,89$). A posteriori durchgeführte Einzelvergleiche mit BONFERONI-Korrektur für den Faktor „Belastungszeitpunkt“ zeigen, dass sich nahezu alle Belastungszeitpunkte signifikant voneinander unterscheiden, mit Ausnahme der Belastungszeitpunkte 2, 3 und 4 sowie den Belastungszeitpunkten 5 und 6 (siehe auch Tabelle 52 und Abbildung 38).

Tabelle 52: Zeitdauer der einzelnen Belastungen für die verschiedenen Belastungsgruppen.

	Fahrradbelastung t [sec] $\bar{x} \pm s$	Handkurbelbelastung t [sec] $\bar{x} \pm s$	Hantelbelastung t [sec] $\bar{x} \pm s$
Belastung 1	597,0 ± 9,5	73,4 ± 11,6	68,5 ± 22,45
Belastung 2	57,5 ± 9,4	63,1 ± 16,5	49,3 ± 14,9
Belastung 3	48,9 ± 6,4	56,4 ± 16,2	43,3 ± 9,8
Belastung 4	47,4 ± 6,2	59,9 ± 21,7	53,6 ± 13,2
Belastung 5	30,6 ± 5,8	41,7 ± 13,5	28,4 ± 9,5
Belastung 6	28,6 ± 4,8	37,5 ± 13,3	27,2 ± 12,1
Belastung 7	36,7 ± 7,0	52,4 ± 17,7	33,6 ± 13,0
Belastung 8	591,5 ± 22,1	79,0 ± 20,8	66,5 ± 21,2
Belastung 9	56,5 ± 11,7	61,4 ± 17,2	43,6 ± 12,4
Belastung 10	46,6 ± 7,8	61,9 ± 26,5	45,2 ± 10,1
Belastung 11	46,2 ± 8,2	59,1 ± 21,3	50,9 ± 14,1
Belastung 12	28,8 ± 6,7	40,9 ± 15,8	29,8 ± 14,2
Belastung 13	27,3 ± 5,6	39,2 ± 14,7	29,2 ± 15,1
Belastung 14	39,1 ± 7,7	52,3 ± 19,4	33,7 ± 15,9

Zunächst zeigt sich eine Verringerung der Belastungsdauer von Belastungszeitpunkt 1 zu Belastungszeitpunkt 2. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Vpn die erste Belastung noch in erholtem Zustand absolvierten und Belastung 2 unter bereits vorhandenen neuromuskulären Beanspruchungen durch Belastung 1 durchführten (also keine Zeit zur vollständigen Erholung gegeben war). Von dort bis zu Belastungszeitpunkt 4 bleiben die Belastungsdauern unverändert, weil jeweils unter den Effekten der vorangegangenen Belastungen wiederum die nächste Belastung zu absolvieren ist. Erst zu Belastungszeitpunkt 5 ist wieder eine Reduktion der Dauer festzustellen, weil die Pause zur vorherigen Belastung jetzt lediglich 30 sec beträgt. Belastung 6 wird dann nach einer gleich langen Pause mit gleicher Dauer wie Belastung 5 durchgeführt. Der Anstieg von Belastungszeitpunkt 6 zu Belastungszeitpunkt 7 könnte

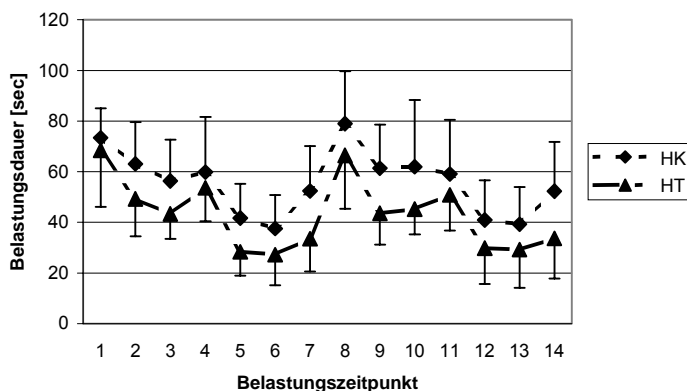


Abbildung 38: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungsdauern unter den Belastungsbedingungen HK und HT über die Belastungszeitpunkte des ersten und zweiten Aneignungstermins.

einerseits damit erklärt werden, dass die Vpn nach der dreimaligen Belastung mit kurzen Pausen erst jetzt wieder einen Wurfblock zu absolvieren haben, der eine Möglichkeit zur Erholung bietet, andererseits damit, dass diese Belastung die letzte des Untersuchungstermins ist und die Vpn sich entweder bei der vorletzten Belastung möglicherweise entgegen der Instruktion schonen oder sie sich bei der letzten Belastung noch einmal besonders motivieren

können. Der Haupteffekt „Aneignungstermin“ wird nicht signifikant ($F_{(1, 18)} = 0,030$; $p = .864$), dies bedeutet, dass sich die Vpn zu beiden Terminen nicht unterschiedlich lange belasten. Interaktionseffekte erster bzw. zweiter Ordnung werden nicht signifikant ($.803 \geq p \geq .207$).

Da die Hantelbelastung – im Gegensatz zu Experiment 1 – kürzer durchgeführt wurde als die Handkurbelbelastung, wurden die in der Belastungsstruktur vergleichbaren Belastungen beider Aneignungstermine (Belastungszeitpunkte 1 bis 6 und 8 bis 13) zusammen gegen die analogen Belastungszeitpunkte der Hantelbelastung aus Experiment 1 getestet. Hier zeigte sich, dass die Hantelbelastung im zweiten Experiment tendenziell kürzer durchgeführt wurde als in Experiment 1 ($t_{(34)} = 1,477$; $p_{(eins.)} = .075$). Ein solcher Effekt konnte für die Handkurbelbelastung nicht

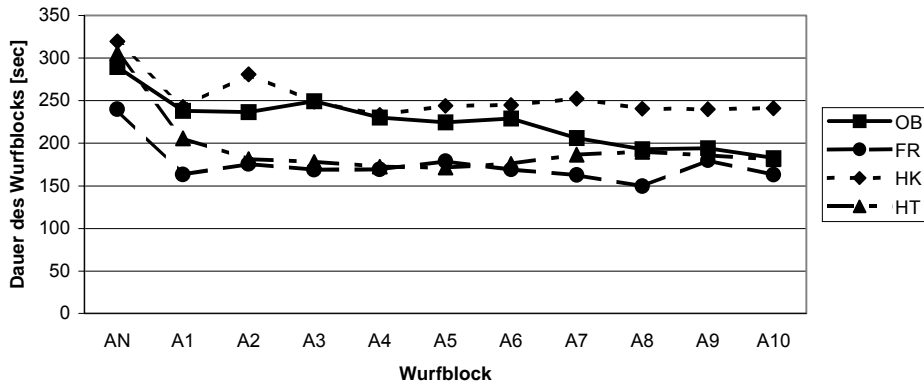


Abbildung 39: Mittelwerte der Wurfblockdauer unter den vier Belastungsbedingungen OB, FR, HK und HT über die elf Wurfblöcke von WB_{AN} bis WB_{A10}.

festgestellt werden ($t_{(34)} = 0,680$; $p = .501$). Diese Befunde legen nahe, dass die Handkurbelbelastung bis zur Erschöpfung durchgeführt wurde. Für die Hantelbelastung kann andererseits aufgrund dieses Befundes jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Belastungen nicht erschöpfend waren. Dies soll bei Bedarf an entsprechender Stelle bei den Ergebnissen diskutiert werden.

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung über die Faktoren „Belastungsgruppe“ und „Wurfblock“ zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Wurfblockdauern der Belastungsgruppen über die Wurfblöcke ($F_{(1, 26)} = 1,264$; $p = .307$). Signifikant wird jedoch der Haupteffekt „Wurfblock“ ($F_{(10, 260)} = 12,590$; $\varepsilon = ,284$; $p_{\text{korr.}} = .000^{***}$; $f = 0,70$).

Durchgeführte Einzelvergleiche mit BONFERONI-Korrektur für den Faktor „Wurfblock“ zeigen, dass sich lediglich die Dauer von Wurfblock 1 (Ausgangsniveau) von der Dauer der anderen Wurfblöcke unterscheidet (für einen Einzelvergleich gilt: $p < .01^{**}$, für alle anderen: $p < .001^{***}$). Der Interaktionseffekt wird nicht signifikant ($F_{(30, 260)} = 1,071$; $\varepsilon = ,284$; $p_{\text{korr.}} = .394$). In diesem Falle gibt es keinen Hinweis auf ein eventuelles „Erholungsverhalten“ infolge einer Belastung beim Absolvieren eines Wurfblockes.

4.4.1.2 Ergebnisse zum AZAN

Tabelle 53 informiert zunächst über die deskriptiven statistischen Werte der dFVF für die einzelnen Belastungsgruppen über die sechs FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.

Tabelle 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF zu den einzelnen FVF-Messzeitpunkten der beiden Aneignungstermine.

	OB	FR	HK	HT
Termin 1	$\bar{x} \pm s$ [Hz]	$\bar{x} \pm s$ [Hz]	$\bar{x} \pm s$ [Hz]	$\bar{x} \pm s$ [Hz]
FVF ₁	0,17 ± 0,69	1,04 ± 1,20	0,47 ± 0,62	0,09 ± 1,47
FVF ₂	-0,03 ± 1,20	1,18 ± 1,63	0,46 ± 1,06	0,11 ± 1,84
FVF ₃	-0,09 ± 0,51	1,70 ± 1,52	0,69 ± 1,23	-0,39 ± 1,24
Termin 2				
FVF ₄	0,52 ± 0,75	1,97 ± 1,18	0,19 ± 1,19	0,47 ± 1,01
FVF ₅	0,37 ± 1,23	2,08 ± 1,43	0,25 ± 1,31	-0,04 ± 1,29
FVF ₆	0,43 ± 1,20	2,63 ± 1,22	0,14 ± 1,45	0,05 ± 1,28

4.4.1.2.1 Zur Baselinemessung

Hypothese H_{FVF} 0.1 wird angenommen: Die absoluten FVF-Werte verändern sich nicht während der Baselinebestimmung ($F_{(2, 78)} = 0,466$; $p = .629$; vgl. Abbildung 40).

Die FVF-Baseline, liegt bei 31,29 Hz ($s = 2,14$) und unterscheidet sich damit auch nicht von der ermittelten FVF-Baseline aus Experiment 1 ($t_{(54)} = 0,378$; $p = .707$).

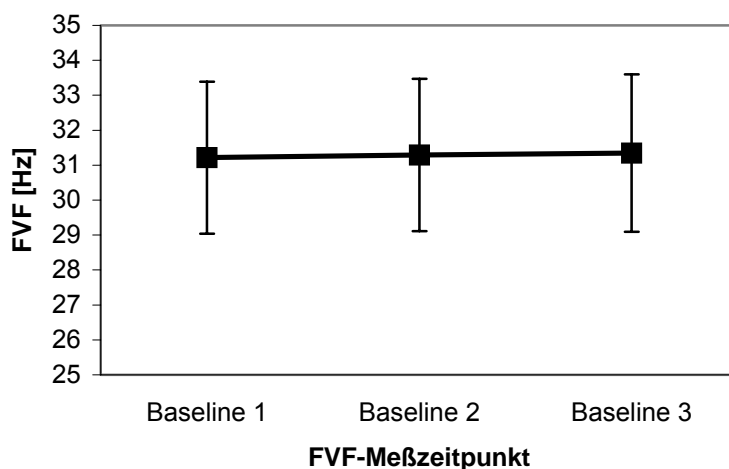


Abbildung 40: Mittelwerte und Standardabweichungen der absoluten FVF-Werte über die drei Baselinemessungen.

4.4.1.2.2 Effekte von Zweck- und Wirkungsursache auf das AZAN

H_{FVF} 1.1a wird angenommen: Die dFVF der Gruppe OB ist zum Messzeitpunkt FVF₁ nicht von Null verschieden ($t_{(9)} =$

0,789; $p = .450$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 41).

H_{FVF} 1.1b wird abgelehnt: Die dFVF der Gruppe OB ist zum Messzeitpunkt FVF₄ bei einer kritischen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 10\%$ von Null verschieden ($t_{(9)} = 2,214$; $p = .054$; $f =$

1,33; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 41).

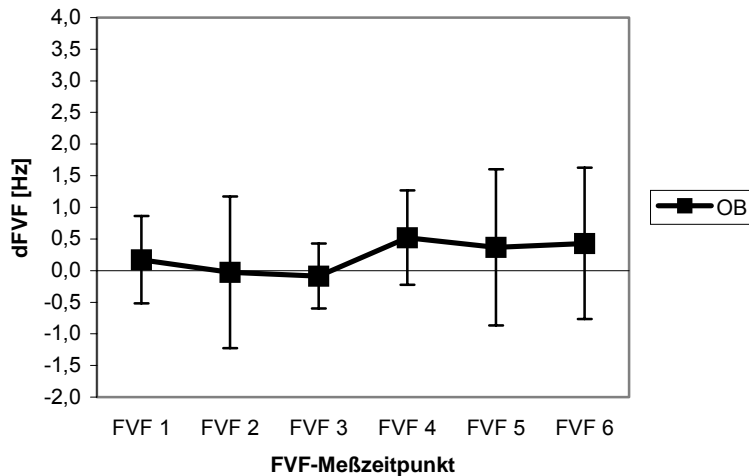


Abbildung 41: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppe OB über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.

H_{FVF} 1.2a wird

angenommen: Die dFVF-Werte der Gruppe OB verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₃ nicht ($F_{(2, 18)} = 0,477$; $p = .628$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 41).

H_{FVF} 1.2b wird

angenommen: Die dFVF-Werte der Gruppe OB verändern sich über die

Messzeitpunkte FVF₄ bis FVF₆ nicht ($F_{(2, 18)} = 0,222$; $p = .803$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 41).

H_{FVF} 2.1a wird abgelehnt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und FR unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₁ auf dem 10%-Niveau ($t_{(18)} = 1,974$; $p = .064$; $f = 0,88$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 42).

H_{FVF} 2.1b wird abgelehnt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und FR unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₄ ($t_{(18)} = 3,299$; $p = .004^{**}$; $f = 1,48$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 42).

H_{FVF} 2.2a wird abgelehnt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und FR verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₃ nicht unterschiedlich ($F_{(2, 36)} = 1,764$; $\epsilon = ,724$; $p_{\text{korrt.}} = .196$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 42). Da jedoch die Prüfung der Hypothese H_{FVF} 1.2a einen nicht erwarteten Unterschied zum Messzeitpunkt FVF₁ ergab, ist hier zur eindeutigen Interpretation eine Kovarianzanalyse indiziert. Diese wird über die beiden Belastungsgruppen OB und FR und die beiden Messzeitpunkte FVF₂ und FVF₃ gerechnet. Als Kovariate dient der Messzeitpunkt FVF₁. Hier wird der Interaktionseffekt ebenfalls nicht signifikant ($F_{(1, 17)} = 1,093$; $p = .310$). Die a priori formulierten Einzelvergleiche, dass die Gruppe FR zu den Messzeitpunkten FVF₂ und FVF₃ höhere dFVF-Werte aufweist, werden teilweise bestätigt. Zur Hypothesenprüfung wurde

hierzu ein unabhängiger t-Test angewandt, wobei die Unterschiede zu FVF₁ herauspartialisiert wurden. Danach unterscheiden sich die dFVF-Werte zum Messzeitpunkt FVF₂ nicht zwischen den Gruppen ($t_{(18)} = 0,540$; $p_{(eins.)} = .298$). Signifikant wird jedoch auch nach Herauspartialisieren des erwähnten Unterschieds die Differenz der dFVF-Werte zum Messzeitpunkt FVF₃ ($t_{(18)} = 2,117$; $p_{(eins.)} = .027^{*L}$; $f = 0,95$).

H_{FVF} 2.2b wird abgelehnt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und FR verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₄ bis FVF₆ nicht unterschiedlich ($F_{(2, 36)} = 2,517$; $p = .095$; $f = 0,44$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 42). Auch in diesem Fall wurde aufgrund der Unterschiede zu FVF₄ a posteriori eine Kovarianzanalyse über die beiden Belastungsgruppen OB und FR und die beiden Messzeitpunkte FVF₅ und FVF₆ gerechnet ($F_{(1, 17)} = 2,195$; $p = .157$). Auch in diesem Fall wurde zur weiteren Prüfung der a priori formulierten Einzelvergleiche ein unabhängiger t-Test gerechnet, wobei der Unterschied zu FVF₄ herauspartialisiert wurde. Danach wird der

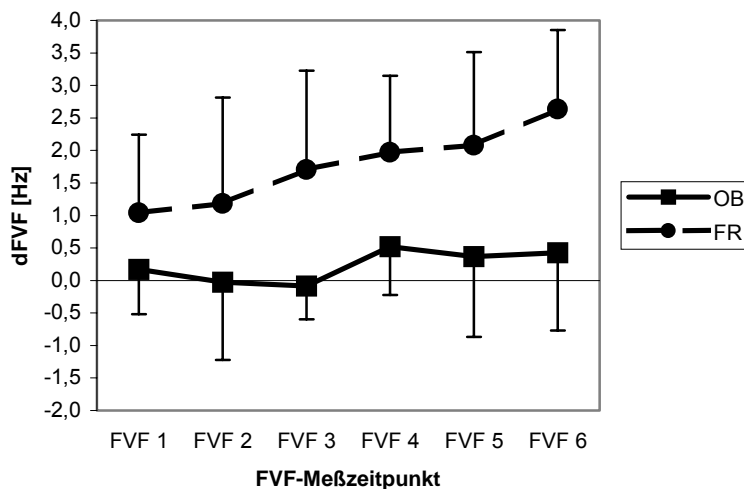


Abbildung 42: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppen OB und FR über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.

Unterschied zwischen den Gruppen zu FVF₄ nicht statistisch bedeutsam ($t_{(18)} = 0,727$; $p_{(eins.)} = .239$). Signifikant ist jedoch der Unterschied zwischen beiden Gruppen zum Messzeitpunkt FVF₆, ebenfalls nach Herauspartialisieren ($t_{(18)} = 2,316$; $p_{(eins.)} = .017^{*}$, $f = 1.04$).

H_{FVF} 3.1a wird bestätigt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HK unterscheiden sich zum

Messzeitpunkt FVF₁ nicht ($t_{(18)} = 0,999$; $p = .331$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 43).

H_{FVF} 3.1b wird bestätigt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HK unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₄ nicht ($t_{(18)} = 0,759$; $p = .458$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 43).

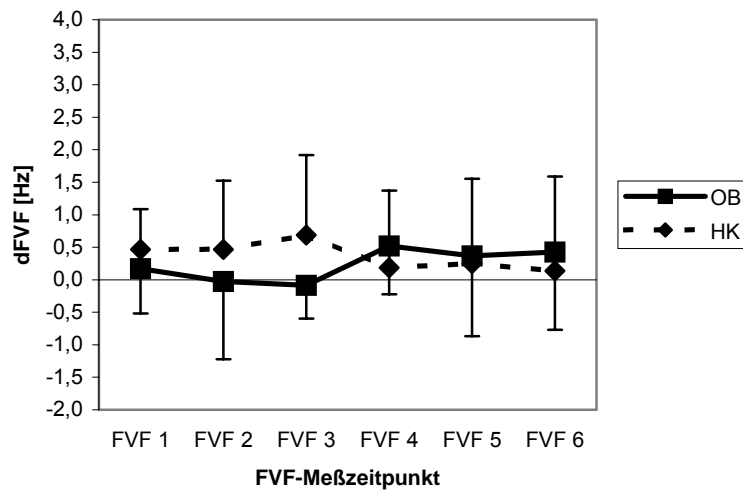


Abbildung 43: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppen OB und HK über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.

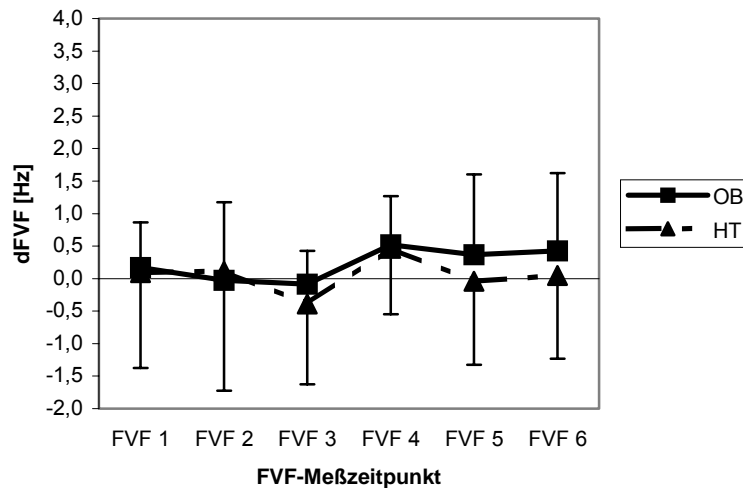


Abbildung 44: Mittelwerte und Standardabweichungen der dFVF für die Belastungsgruppen OB und HT über die FVF-Messzeitpunkte der Aneignungsphase.

Tabelle 53 und Abbildung 44).

H_{FVF} 3.2a wird bestätigt:

Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HK verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₃ nicht unterschiedlich ($F_{(2, 36)} = 0,517$; $p = .601$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 43).

H_{FVF} 3.2b wird bestätigt:

Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HK verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₄ bis FVF₆ nicht unterschiedlich ($F_{(2, 36)} = 0,133$; $p = .876$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 43).

H_{FVF} 4.1a wird bestätigt:

Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HT unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₁ nicht ($t_{(18)} = 0,160$; $p = .875$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 44).

H_{FVF} 4.1b wird bestätigt:

Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HT unterscheiden sich zum Messzeitpunkt FVF₄ nicht ($t_{(18)} = 0,141$; $p = .890$; vgl.

H_{FVF} 4.2a wird bestätigt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HT verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₁ bis FVF₃ nicht unterschiedlich ($F_{(2, 36)} = 0,349$; $p = .708$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 44).

H_{FVF} 4.2b wird bestätigt: Die dFVF-Werte der Gruppen OB und HT verändern sich über die Messzeitpunkte FVF₄ bis FVF₆ nicht unterschiedlich ($F_{(2, 36)} = 0,576$; $p = .567$; vgl. Tabelle 53 und Abbildung 44).

4.4.1.2.3 Zusammenfassung und Interpretation

Für die unbelastete Gruppe bestätigte sich die Erwartung, dass sich die FVF zum ersten FVF-Messzeitpunkt des ersten Aneignungstermins (FVF₁) nicht von der Baseline unterscheidet. Für den ersten Messzeitpunkt des zweiten Aneignungstermins (FVF₄) musste diese Annahme jedoch abgelehnt werden. Die zu diesem Zeitpunkt nachgewiesene Erhöhung des AZAN könnte durch selbstregulatorische Prozesse bedingt sein, d.h. durch eine Feedforward-Regelung des AZAN in Bezug auf die auszuführende motorische Aufgabe. Dies spräche dafür, dass die Aufgabe in dieser Übungsstruktur zumindest einmal ausgeführt werden musste, damit adäquate selbstregulatorische Prozesse einsetzen können. Die ermittelte Stärke dieses Effekts unterstreicht seine praktische Bedeutsamkeit. Die Annahme, dass sich die dFVF-Werte über die FVF-Messzeitpunkte des ersten und zweiten Aneignungstermins nicht verändern, konnte bestätigt werden.

Sämtliche Hypothesen für die Fahrradbelastung mussten abgelehnt werden. Zum ersten FVF-Messzeitpunkt beider Aneignungstermine sind die dFVF-Werte der Gruppe FR höher als die der unbelasteten Gruppe. Gleichzeitig verändern sich die dFVF-Werte beider Gruppen zu beiden Aneignungsterminen nicht unterschiedlich. Da jedoch zu beiden Aneignungsterminen Unterschiede zwischen beiden Gruppen zum ersten FVF-Messzeitpunkt vorlagen, wurden zur Stützung der Interpretation eine Kovarianzanalyse bzw. gerichtete t-Tests mit Herauspartialisieren des Unterschieds für die a priori formulierten Einzelvergleiche gerechnet. Diese zeigen, dass lediglich zum jeweils letzten FVF-Messzeitpunkt beider Aneignungstermine infolge der Fahrradbelastung höhere dFVF-Werte vorliegen. Dabei sind diese Effekte wiederum als stark zu klassifizieren. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, dass zum ersten Aneignungstermin die zu absolvierende Fahrradbelastung im Sinne einer Zweckursache eine Erhöhung des AZAN hervorruft, bzw. dass diese zum zweiten Aneignungstermin zu einer über die Erhöhung durch die motorische Aufgabe hinausgehenden Steigerung des AZAN führt. Im Sinne einer Wirkungsursache, wie eigentlich erwartet, führt die Mittelzeitausdauerbelastung auch in diesem Experiment nicht zu einer AZAN-Erhöhung. Jedoch scheinen die

Kurzzeitausdauerbelastungen in der gewählten Belastungsstruktur zu einer Steigerung des AZAN zu führen, allerdings erst zum letzten FVF-Messzeitpunkt des jeweiligen Aneignungstermins. Diese verzögerte Wirkung könnte über den verzögerten Effekt des Ammoniak auf den GABA-Stoffwechsel erklärt werden.

Die Hypothesen, die bzgl. der Handkurbel- bzw. der Hantelbelastung formuliert wurden, konnten alle angenommen werden. Es zeigten sich zum ersten FVF-Messzeitpunkt beider Aneignungstermine weder Unterschiede zur unbelasteten Gruppe, noch konnte eine unterschiedliche Veränderung über die FVF-Messzeitpunkte festgestellt werden. Weder Handkurbel-, noch Hantelbelastung bewirken also eine Veränderung des AZAN im Sinne einer Zweck- oder einer Wirkungsursache.

4.4.1.3 *Ergebnisse zur Trefferleistung*

Zunächst informiert Tabelle 54 über die deskriptiven statistischen Kennwerte der Trefferleistung und der Faktoren-Beiträge zu ausgewählten Messzeitpunkten.

Tabelle 54: Mittelwerte und Standardabweichungen der Trefferleistung und der Faktoren-Beiträge zu ausgewählten Messzeitpunkten (WB_A bezeichnet hier den Mittelwert über die zehn Wurfblöcke der Aneignungsserie).

		OB	FR	HK	HT
		$\bar{x} \pm s$ [cm]	$\bar{x} \pm s$ [cm]	$\bar{x} \pm s$ [cm]	$\bar{x} \pm s$ [cm]
L	WB _{AN}	16,89 ± 4,54	18,74 ± 4,02	18,87 ± 3,86	19,68 ± 2,64
	WB _A	12,95 ± 4,28	13,70 ± 3,25	16,24 ± 3,87	15,69 ± 3,18
	WB _{B1}	10,83 ± 4,67	12,46 ± 3,94	11,24 ± 2,30	11,54 ± 3,80
d _{Kova}	WB _A	-1,18 ± 2,54	-2,54 ± 1,71	-1,50 ± 3,84	-1,77 ± 1,91
	WB _{B1}	-1,37 ± 3,76	-2,53 ± 2,82	-3,60 ± 3,45	-3,05 ± 2,90
d _{Rausch}	WB _A	-3,07 ± 2,27	-3,37 ± 1,77	-1,44 ± 1,23	-2,59 ± 2,15
	WB _{B1}	-4,79 ± 3,07	-4,57 ± 2,46	-3,72 ± 2,32	-4,93 ± 3,79
d _{Stabi}	WB _A	0,31 ± 1,35	0,78 ± 0,88	0,32 ± 0,95	0,37 ± 1,28
	WB _{B1}	0,10 ± 1,99	0,82 ± 1,43	-0,31 ± 1,60	-0,16 ± 3,21

4.4.1.3.1 *Ausgangsniveau*

Zunächst wurde überprüft, ob sich die Trefferleistungen im Wurfblock „Ausgangsniveau“ (WB_{AN}) dieses Experimentes ($\bar{x} = 18,54$ cm; $s = 3,82$ cm) nicht von der Trefferleistung im Wurfblock WB_{A1} des ersten Experimentes ($\bar{x} = 16,60$ cm; $s = 9,19$ cm) unterscheiden. Ein Unterschied konnte hier nicht nachgewiesen werden ($t_{(17,112)} = 1,125$; $p = .425^L$). Da hier die Annahme gleicher Varianzen nicht aufrechterhalten werden konnte (LEVENE-Test: $F_{(1, 54)} = 25,400$; $p = .000^{***}$), wurde entsprechend korrigiert. Die Probanden dieses zweiten Experimentes bringen

daher kein höheres Experteniveau bzgl. der anzueignenden Bewegungsaufgabe mit als die Probanden des ersten Experiments.

H_L 0.1 wird angenommen: Die Trefferleistungen der vier Belastungsgruppen unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{AN} ($F_{(3, 36)} = 0,948$; $p = .428$). Damit war das untersuchungsmethodische Verfahren der Randomisierung erfolgreich: Die vier Stichproben unterscheiden sich nicht hinsichtlich der abhängigen Variablen.

4.4.1.3.2 Belastungsgruppe OB

Von den serienbezogenen Parametern verändern sich die über die zehn Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus die Streuung im Abwurfzeitpunkt ($F_{(9, 72)} = 3,029$; $\varepsilon = ,387$; $p = .040^*$; $f = 0,62$) sowie die Abweichung von der äquifinalen Bahn ($F_{(9, 72)} = 4,201$; $\varepsilon = ,280$; $p = .023^*$; $f = 0,72$). Alle anderen Parameter bleiben unverändert ($.520 \geq p \geq .123$).

H_L 1.1 wird angenommen: Die Trefferleistung der Gruppe OB verbessert sich vom Wurfblock WB_{AN} zum Wurfblock WB_{A10} ($t_{(9)} = 3,753$; $p_{(eins.)} = .003^{**}$; $f = 1,68$; vgl. Abbildung 45 oben). Insgesamt zeigt sich für die unbelastete Bedingung ein Leistungsanstieg von im Mittel 5,14 cm.

Tabelle 55: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. der Beiträge der Faktoren der Gruppe OB von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{A10}.

	$t_{(9)}$	p	f
d _{Kova}	1,191	.264	
d _{Rauschen}	4,018	.003**	0,60
d _{Stabi}	0,013	.966	

Zu dieser Leistungsverbesserung trägt vordringlich der Faktor „Rauschreduktion“ mit 3,82 cm bei (vgl. Tabelle 55 und Abbildung 45 unten).

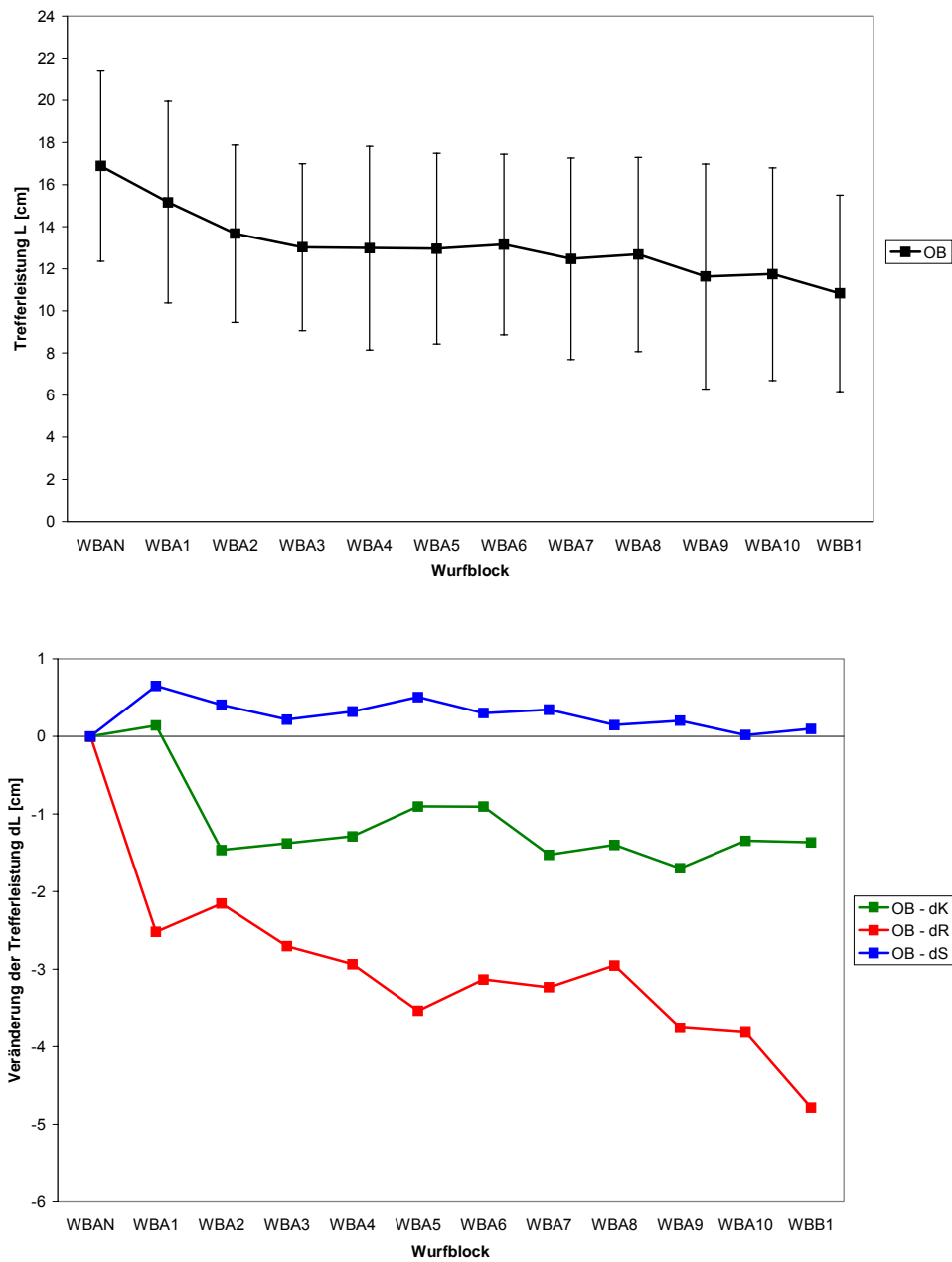



Abbildung 45: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppe OB von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1} .

Für sämtliche serienbezogenen Parameter mit Ausnahme der mittleren Abwurfgeschwindigkeit zeigt sich eine Veränderung von den Wurfserien des Wurfblocks WB_{AN} zu den Wurfserien des Wurfblocks WB_{A10} (für den mittleren Abwurfwinkel wird die 5%-Schranke nur marginal verfehlt). Die serienbezogenen Parameter des Rauschens, der Kopplungskoeffizient q und die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufes von der äquifinalen Bahn verändern sich alle in

leistungssteigern-
der Richtung (vgl.
Tabelle 56 und
Abbildung 46).

Tabelle 56: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppe OB zu Wurfblock WB_{AN} und WB_{A10} .

	$WB_{AN} (\bar{x} \pm s)$	$WB_{A10} (\bar{x} \pm s)$	$t_{(g)}$	p	f
$s_{-\alpha_0} [^\circ]$	$11,04 \pm 3,58$	$5,72 \pm 1,59$	6,196	.000*** ⁺	3,50
$s_{-\nu_0} [m/s]$	$0,50 \pm 0,13$	$0,31 \pm 0,12$	7,430	.000*** ⁺	3,35
$s_{-t_0} [msec]$	$19,39 \pm 6,20$	$9,88 \pm 3,29$	6,541	.000*** ⁺	3,44
$RMS_{W/t}$	$19,92 \pm 7,82$	$7,96 \pm 2,02$	5,269	.001** ⁺	2,78
q	$0,83 \pm 0,13$	$0,69 \pm 0,14$	2,852	.009** ⁺	1,28
$\bar{\alpha}_0 [^\circ]$	$79,57 \pm 3,93$	$75,32 \pm 4,17$	2,135	.062	0,95
$\bar{\nu}_0 [m/s]$	$4,81 \pm 0,49$	$4,96 \pm 0,41$	1,219	.254	
RMS_{Aequi}	$13,28 \pm 10,80$	$2,84 \pm 2,49$	3,652	.003** ⁺	2,75

⁺: Einseitiger Test

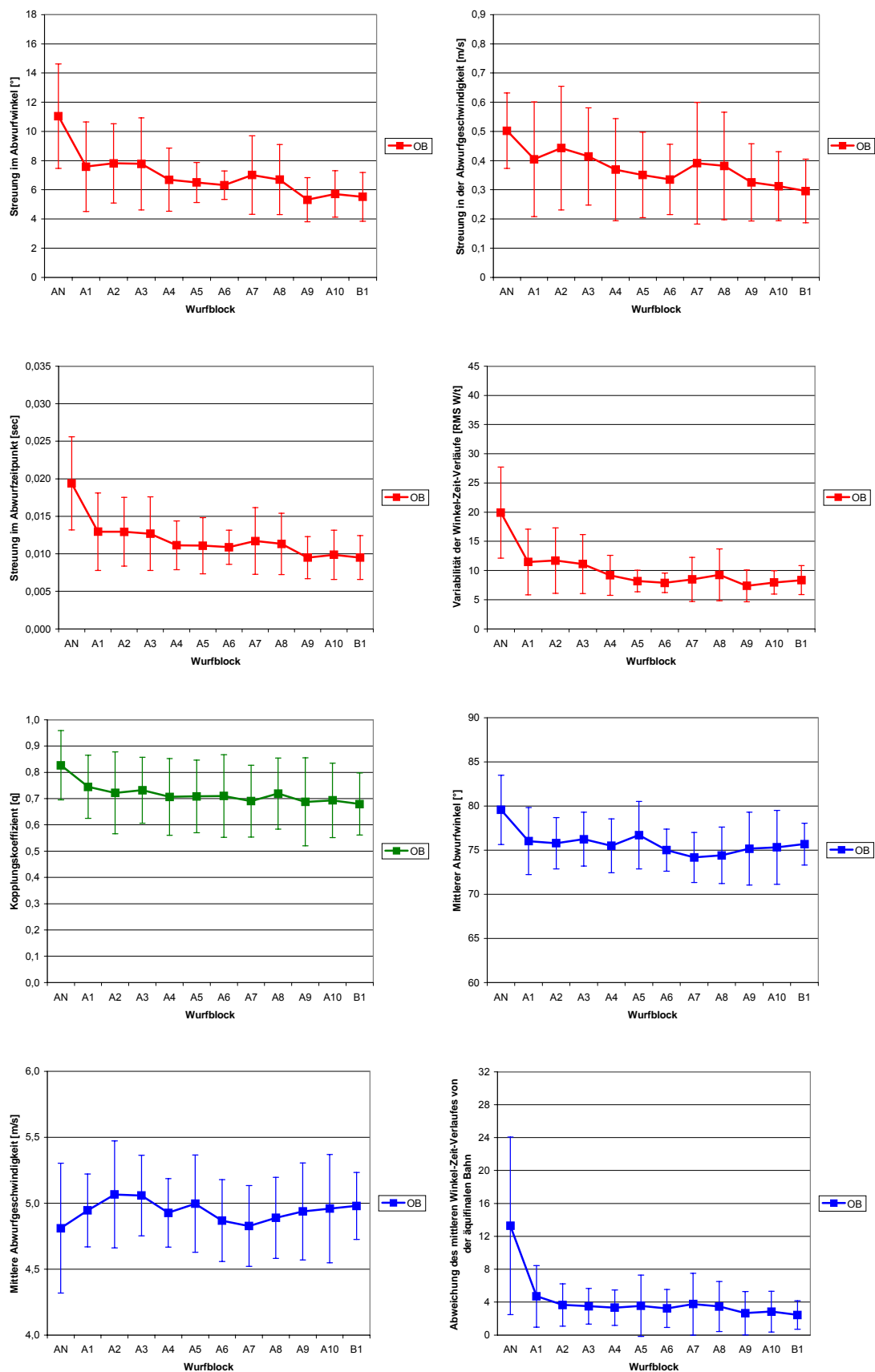


Abbildung 46: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Gruppe OB von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1} .

H_L 1.2 wird angenommen: Die Trefferleistung der Gruppe OB verändert sich von Wurfblock WB_{A10} zu Wurfblock WB_{B1} nicht ($t_{(9)} = 1,268$; $p = .237$; vgl. Abbildung 45 oben). Weiterhin kann

Tabelle 57: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. der Veränderung der Faktoren-Beiträge von Wurfblock WB_{A10} zu WB_{B1}.

	$t_{(9)}$	p
d _{Kova}	0,030	.977
d _{Rauschen}	1,430	.186
d _{Stabi}	0,231	.823

auch keine Veränderung eines Faktoren-Beitrages festgestellt werden (vgl. Tabelle 57 und Abbildung 45 unten).

Auch die serienbezogenen Parameter zeigen keine Veränderung vom Wurfblock WB_{A10} zum Wurfblock WB_{B1} (vgl. Tabelle 57 und Abbildung 46).

Zusammenfassung und Interpretation

Beide vorab formulierten Hypothesen konnten angenommen werden. Von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{A10} kann eine

Verbesserung der Trefferleistung

festgestellt werden, was auf die vorangegangene Übung zurückführen ist.

Die

Leistungsverbesserung wurde hierbei über die bessere Nutzung des Faktors

„Rauschreduktion“

erreicht. Bis auf die mittlere

Tabelle 58: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppe OB zu Wurfblock WB_{A10} und WB_{B1}.

	WB _{A10} ($\bar{x} \pm s$)	WB _{B1} ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(9)}$	p
$s_{-\alpha_0}$ [°]	5,72 ± 1,59	5,52 ± 1,67	0,589	.571
s_{-v_0} [m/s]	0,31 ± 0,12	0,30 ± 0,11	0,645	.535
s_{-t_0} [msec]	9,88 ± 3,29	9,51 ± 2,93	0,803	.443
RMS _{W/t}	7,96 ± 2,02	8,35 ± 2,48	0,913	.385
q	0,69 ± 0,14	0,68 ± 0,12	0,367	.722
$\bar{\alpha}_0$ [°]	75,32 ± 4,17	75,69 ± 2,36	0,243	.813
\bar{v}_0 [m/s]	4,96 ± 0,41	4,98 ± 0,25	0,225	.827
RMS _{Aequi}	2,84 ± 2,49	2,43 ± 1,73	1,225	.252

Abwurfgeschwindigkeit ist auch in allen serienbezogenen Parametern eine Veränderung in eine leistungsfördernde Richtung festzustellen. Schließlich zeigt sich keine Veränderung der Trefferleistung vom letzten Wurfblock der Aneignungsserie zum ersten Behaltens-Wurfblock. Die Leistungsverbesserung bis zum Ende der Aneignungsphase ist somit behaltensstabil, es wurde gelernt. Auch sämtliche serienbezogenen Parameter zeigen keine Veränderung vom letzten Wurfblock der Aneignungsphase zum Wurfblock WB_{B1}.

4.4.1.3.3 Fahrradbelastung

H_L 2.0 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich im Wurfblock WB_{AN} nicht ($t_{(18)} = 0,965$; $p = .347$; vgl. Abbildung 47 oben). Auch bezüglich der serienbezogenen Parameter zeigen sich über die Serien zur Bestimmung des Ausgangsniveaus für die beiden Gruppen OB und FR weder ein Unterschied ($.945 \geq p \geq .215$), noch eine unterschiedliche Veränderung ($.720 \geq p \geq .228$). Es kann daher von einer guten Übereinstimmung beider Gruppen ausgegangen werden.

Tabelle 59: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB und FR von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10}.

	HE Belastung		IA Belastung x Serie		
	F _(1, 18)	p	F _(9, 162)	ε	p bzw. p _{korr.}
L	0,194	.665	1,735	,471	.147
d _{Kova}	1,730	.205	1,813	,525	.123
d _{Rauschen}	0,105	.749	0,824	,665	.554
d _{Stabi}	0,849	.369	0,682	,379	.585

H_L 2.1 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich nicht über die Wurfblöcke von Wurfblock WB_{A1} zu Wurfblock WB_{A10} (vgl. Tabelle 59 und Abbildung 47 oben). Für die Faktoren der Veränderung der Trefferleistung zeigen sich ebenfalls keine Unterschiede

zwischen den beiden Belastungsgruppen (vgl. Tabelle 59 und Abbildung 47 unten).

Auch für die serienbezogenen Parameter kann über die zehn Aneignungs-Wurfblöcke weder ein Unterschied, noch eine unterschiedliche Veränderung festgestellt werden (vgl. Tabelle 60 und Abbildung 48).

Tabelle 60: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB und FR von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10}.

	HE Belastung		IA Belastung x Serie		
	F _(1, 18)	p	F _(9, 162)	ε	p bzw. p _{korr.}
$s_{-\alpha_0}$	0,218	.646	0,669	,506	.635
$s_{-\nu_0}$	0,040	.844	0,725	,572	.610
s_{-t_0}	0,157	.697	0,692	,602	.642
RMS _{W/t}	1,483	.239	0,646	,495	.648
q	0,224	.641	1,868	,530	.112
$\bar{\alpha}_0$	0,504	.487	0,628	,435	.641
$\bar{\nu}_0$	0,022	.884	0,616	,405	.638
RMS _{Aequi}	0,030	.865	1,198	,496	.318

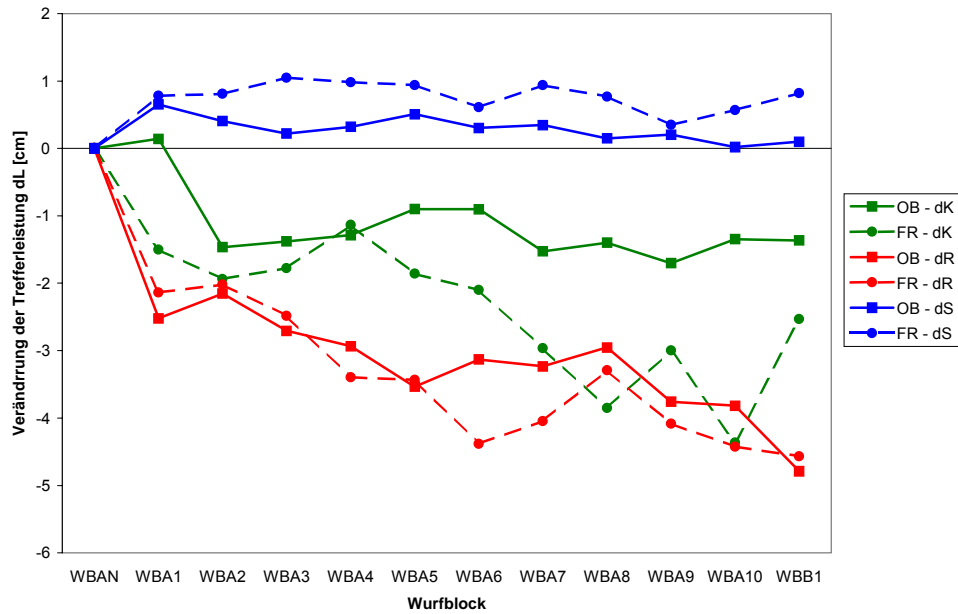
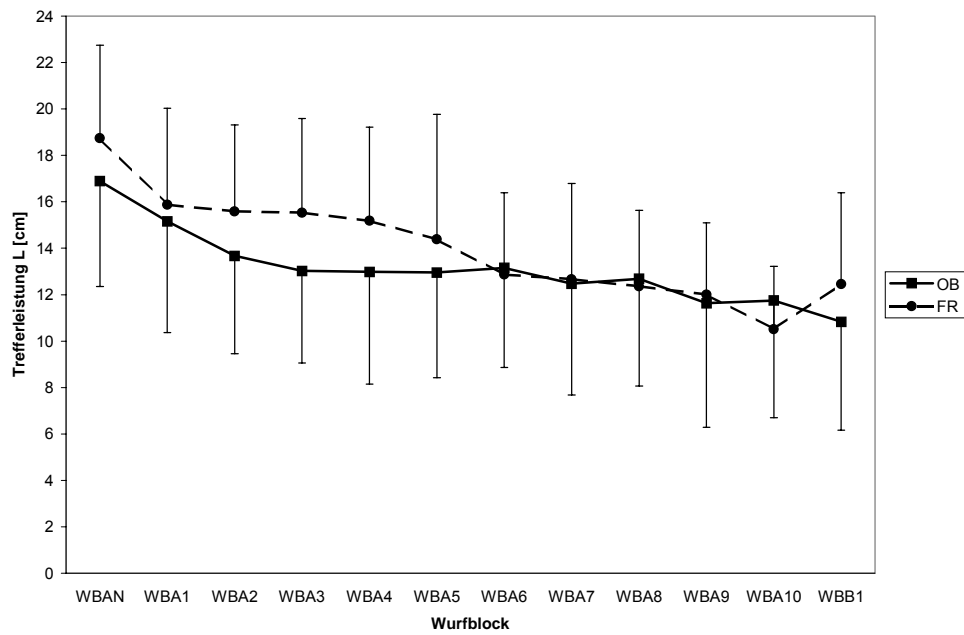


Abbildung 47: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppen OB und FR von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}.

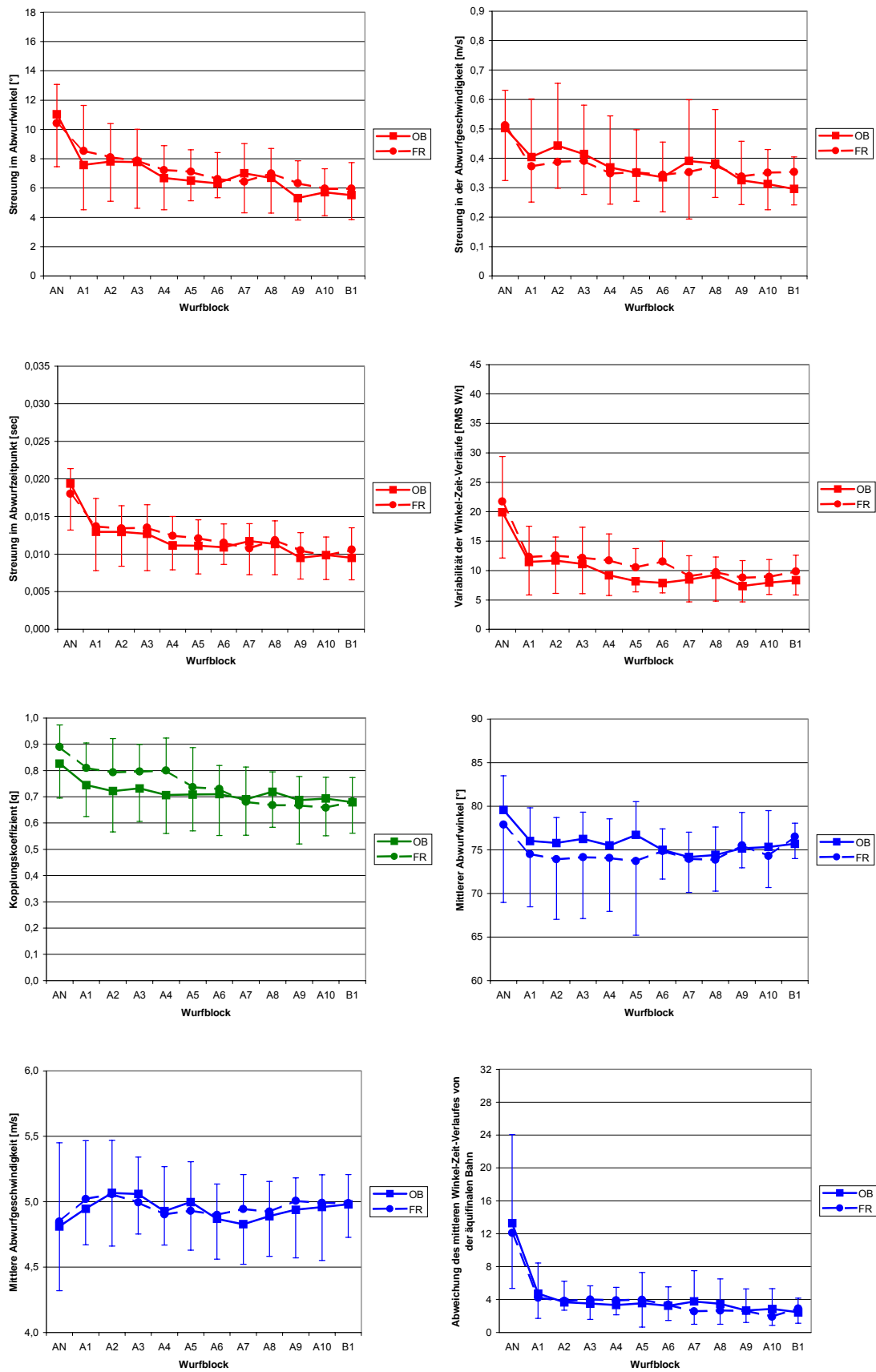


Abbildung 48: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und FR von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1} .

H_L 2.2 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich im Wurfblock WB_{B1} nicht ($t_{(18)} = 0,840$; $p = .412$; vgl. Abbildung 47 oben). Auch zeigen sich keine Unterschiede hinsichtlich der Faktoren-Beiträge (vgl.

Tabelle 61: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB und FR zu Wurfblock WB_{B1}.

	$t_{(18)}$	p
d _{Kova}	0,785	.443
d _{Rauschen}	0,177	.862
d _{Stabi}	0,928	.366

Tabelle 61 und Abbildung 47 unten).

Für keinen der serienbezogenen Parameter zeigt sich zum Wurfblock WB_{B1} ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen OB und FR (vgl. Tabelle 62 und Abbildung 48).

Zusammenfassung und Interpretation

Alle a priori formulierten Hypothesen konnten angenommen werden. Die methodische Voraussetzungsprüfung der Nicht-

Tabelle 62: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und FR zu Wurfblock WB_{B1}

	OB ($\bar{x} \pm s$)	FR ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(18)}$	p
$s_{-\alpha_0}$ [°]	5,52 ± 1,67	5,96 ± 1,77	0,571	.575
s_{-v_0} [m/s]	0,30 ± 0,11	0,35 ± 0,11	1,169	.258
s_{-t_0} [msec]	9,51 ± 2,93	10,56 ± 2,92	0,800	.434
RMS _{W/t}	8,35 ± 2,48	9,83 ± 2,77	1,264	.223
q	0,68 ± 0,12	0,68 ± 0,09	0,051	.960
$\bar{\alpha}_0$ [°]	75,69 ± 2,36	76,52 ± 2,52	0,762	.456
\bar{v}_0 [m/s]	4,98 ± 0,25	4,99 ± 0,22	0,079	.938
RMS _{Aequi}	2,43 ± 1,73	2,91 ± 1,81	0,608	.551

Unterschiedlichkeit der Trefferleistung im Ausgangsniveau wurde bestätigt. Im Verlauf der Aneignungsphase unterscheiden sich die beiden Gruppen hinsichtlich der Trefferleistung, der Beiträge der Faktoren und der serienbezogenen Parameter ebenfalls nicht, und es ist auch keine unterschiedliche Veränderung dieser Variablen

festzustellen. Die induzierte Fahrradbelastung wirkt sich somit weder auf die Trefferleistung selbst, noch auf leistungsrelevante Parameter aus. Schließlich sind zum Behaltens-Wurfblock WB_{B1} die genannten Variablen zwischen beiden Bedingungen nicht unterschiedlich, d.h. auch für die Gruppe FR ist eine Behaltensstabilität der Ausführungsleistung über den angesetzten Zeitraum zu konstatieren. Die Lernleistungen der Gruppen OB und FR unterscheiden sich somit nicht.

4.4.1.3.4 Handkurbelbelastung

H_L 3.0 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HK unterscheiden sich im Wurfblock WB_{AN} nicht ($t_{(18)} = 1,050$; $p = .307$; vgl. Abbildung 49 oben). Auch bzgl. der serienbezogenen Parameter unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht ($.990 \geq p \geq .171$) und sie verändern sich auch nicht unterschiedlich ($.656 \geq p \geq .199$).

Tabelle 63: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB und HK über die Wurfblöcke von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10}.

	HE Belastung			IA Belastung x Serie		
	F _(1, 18)	p	f	F _(9, 162)	ε	p bzw. p _{kor.}
L	einseitiger t-Test (s.o.)			0,910	,371	.450
d _{Kova}	0,050	.825		0,888	,451	.477
d _{Rauschen}	3,977	.061	0,47	0,514	,428	.723
d _{Stabi}	0,000	.986		1,101	,349	.358

Abbildung 49 oben). An dieser Verringerung der Trefferleistung ist hauptsächlich der Faktor „Rauschreduktion“ beteiligt, der über die Aneignungsphase durch die Belastungsgruppe HK tendenziell schlechter genutzt wird (vgl. Tabelle 63 und Abbildung 49 unten).

Tabelle 64: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10}.

	HE Gruppe			IA Gruppe x Block		
	F _(1, 18)	p	f	F _(9, 162)	ε	p bzw. p _{kor.}
s_{α_0}	2,857	.108		0,716	,391	.567
s_{v_0}	1,844	.191		0,448	,427	.766
s_{t_0}	3,050	.098	0,41	0,920	,350	.441
RMS _{W/t}	5,996	.025*	0,58	0,929	,268	.418
q	2,493	.132		0,547	,492	.719
$\bar{\alpha}_0$	0,669	.424		0,809	,601	.554
\bar{v}_0	0,127	.726		1,535	,472	.197
RMS _{Aequi}	2,831	.110		0,997	,168	.361

$\bar{x} = 9,26$; HK: $\bar{x} = 15,96$). Tendenzuell ist auch die Streuung der Abwurfzeitpunkte erhöht. Sonstige Unterschiede werden nicht signifikant (vgl. Tabelle 64 und Abbildung 50).

H_L 3.1 wird

angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppe HK sind über die Wurfblöcke von Wurfblock WB_{A1} zu Wurfblock WB_{A10} geringer als die der Gruppe OB ($t_{(18)} = 1,804$; $p_{(eins.)} = .044^*$; $f = 0,81$; vgl.

Für die serienbezogenen Parameter können keine unterschiedlichen

Veränderungen der beiden Gruppen OB und HK über die zehn Wurfblöcke der Aneignungsphase festgestellt werden. Jedoch ist die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe über die Aneignungsphase für die Gruppe HK signifikant höher als für die Gruppe OB (OB:

Die für block- und serienbezogene Parameter ermittelten starken Effekte der statistisch bedeutsamen Unterschiede unterstreichen auch in diesem Falle deren praktische Bedeutsamkeit.

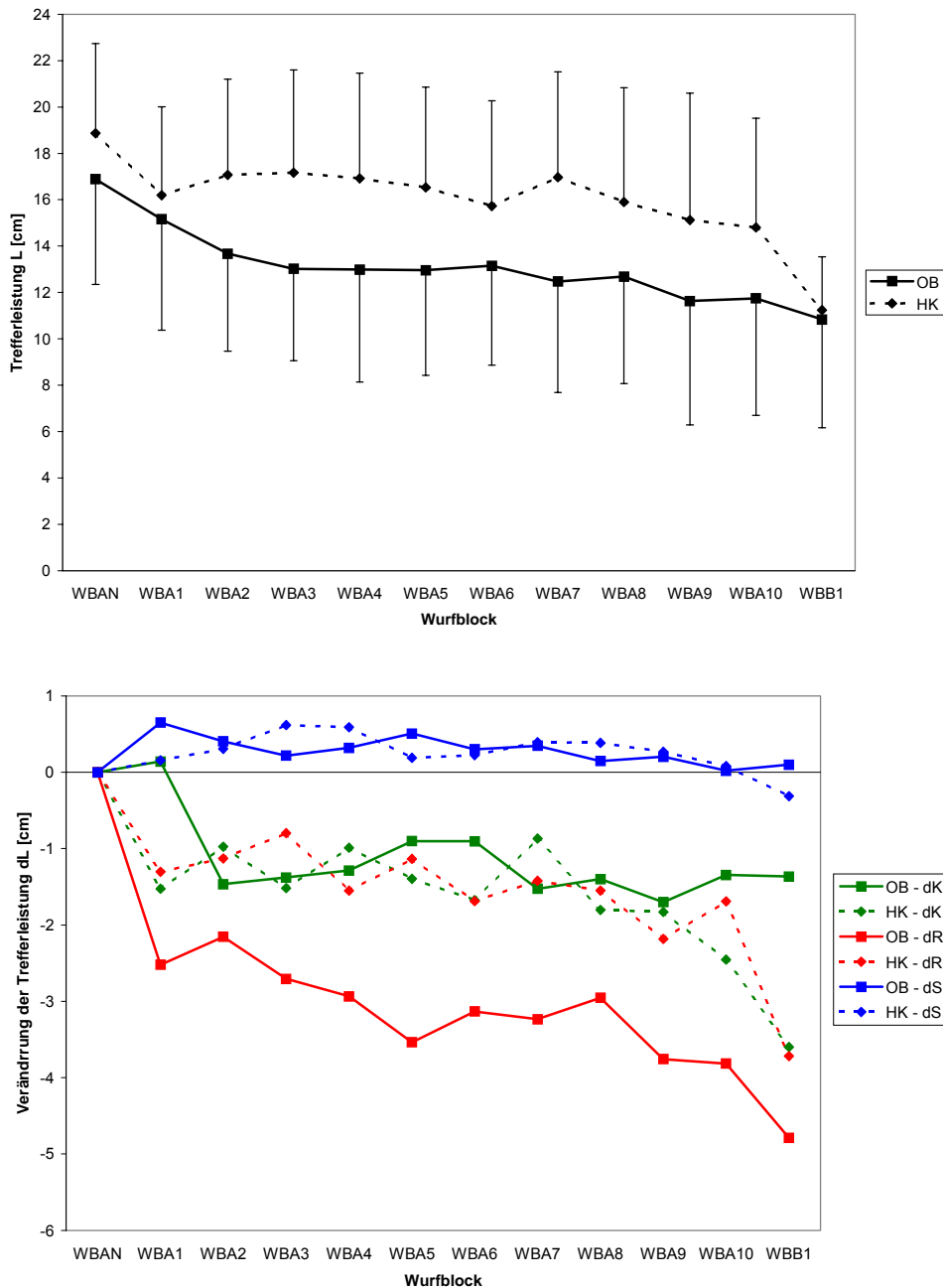


Abbildung 49: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}.

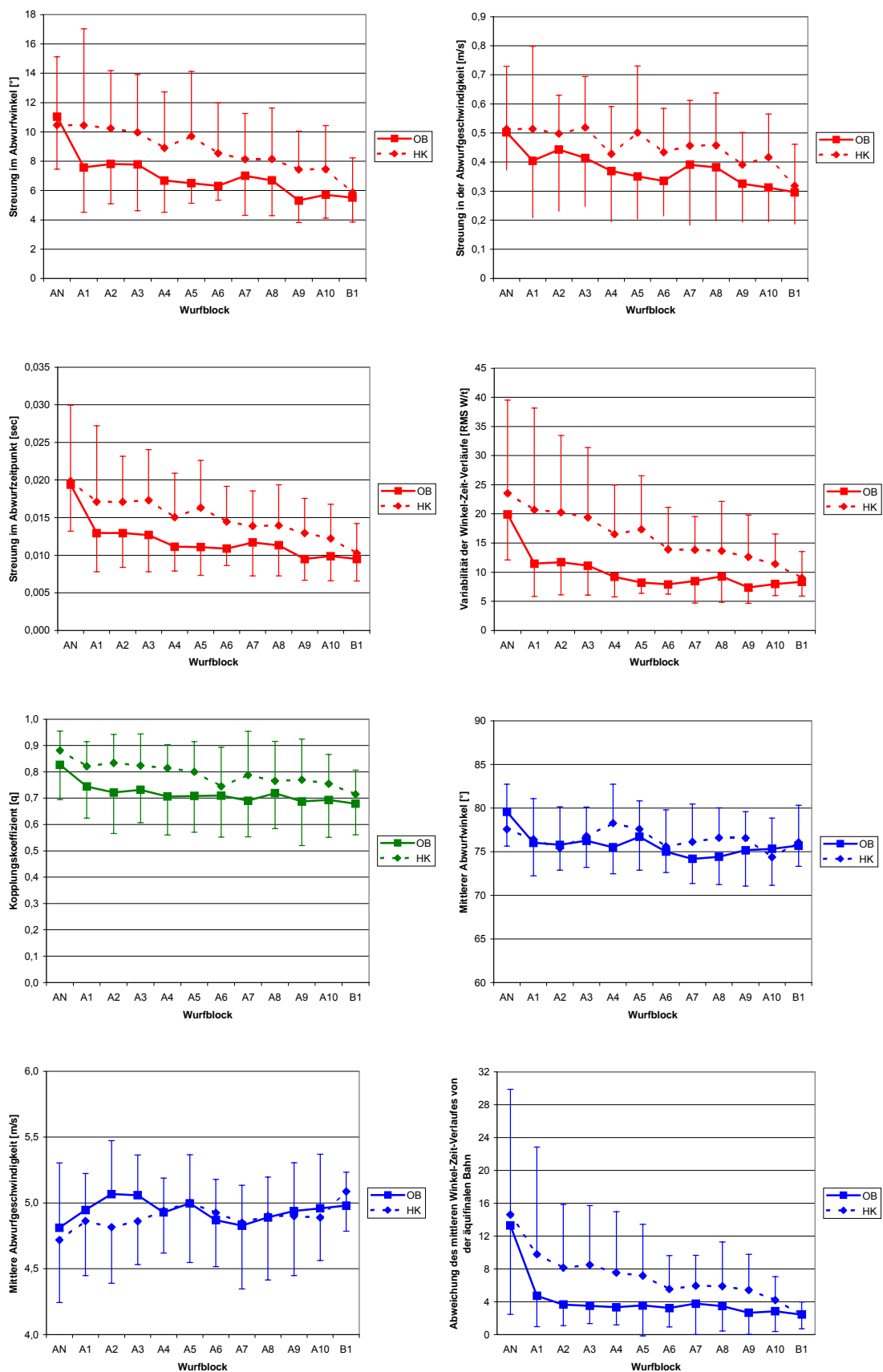


Abbildung 50: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}.

H_L 3.2 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HK unterscheiden sich im Wurfblock WB_{B1} nicht ($t_{(18)} = 0,248$; $p = .807$; vgl. Tabelle 65 und Abbildung 50).

Tabelle 65: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB und HK zu Wurfblock WB_{B1}

	$t_{(18)}$	p
d _{Kova}	1,384	.183
d _{Rauschen}	0,881	.390
d _{Stabi}	0,508	.618

Tabelle 66: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und HK zum Wurfblock WB_{B1}.

	OB ($\bar{x} \pm s$)	HK ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(18)}$	p
$s_{-\alpha_0}$ [°]	5,52 ± 1,67	5,87 ± 2,36	0,381	.708
s_{-v_0} [m/s]	0,30 ± 0,11	0,32 ± 0,14	0,396	.697
s_{-t_0} [msec]	9,51 ± 2,93	10,26 ± 3,97	0,483	.635
RMS _{W/t}	8,35 ± 2,48	9,01 ± 4,54	0,403	.692
q	0,68 ± 0,12	0,71 ± 0,09	0,754	.461
$\bar{\alpha}_0$ [°]	75,69 ± 2,36	76,06 ± 4,24	0,246	.809 ^L
\bar{v}_0 [m/s]	4,98 ± 0,25	5,09 ± 0,30	0,858	.402
RMS _{Aequi}	2,43 ± 1,73	2,45 ± 1,52	0,020	.984

^L: korrigiert nach LEVENE

Ebensowenig zeigen die Beiträge der Faktoren Unterschiede zum Wurfblock WB_{B1}. Zum Wurfblock WB_{B1} zeigt sich kein Unterschied zwischen den beiden Belastungsgruppen hinsichtlich serienbezogener Parameter (vgl. Tabelle 66 und Abbildung 50).

Zusammenfassung und Interpretation

Die methodische Hypothese, dass sich die Gruppen OB und HK hinsichtlich ihres Ausgangsniveaus der Trefferleistung nicht unterscheiden, konnte angenommen werden. Die Annahme,

dass die Trefferleistung über die Aneignungsphase infolge der Handkurbelbelastung reduziert ist, wurde ebenfalls bestätigt. Von den serienbezogenen Parametern war infolge der Handkurbelbelastung lediglich die Variabilität der Winkel-Zeit-Verläufe höher (die Streuung im Abwurfzeitpunkt

tendenziell). Diese Effekte

werden auf die neuromuskulären Beanspruchungen zurückgeführt. Schließlich wurde die Erwartung, dass sich die beiden Gruppen nicht zum Behaltenszeitpunkt unterscheiden, bestätigt. Infolge der Handkurbelbelastung ist somit die Lernleistung trotz verminderter Aneignungsleistung gegenüber der unbelastet übenden Gruppe nicht reduziert. Auch die serienbezogenen Parameter zeigen zu diesem Zeitpunkt keinen Unterschied. Dies spricht wiederum dafür, dass das periphere Geschehen (neuromuskuläre Beanspruchungen der aufgabenrelevanten Muskulatur) vom prozessualen Geschehen (lernrelevante Informationsverarbeitungsprozesse) unabhängig ist.

4.4.1.3.5 Hantelbelastung

H_L 4.0 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HT unterscheiden sich im Wurfblock WB_{AN} nicht ($t_{(18)} = 1,679$; $p = .110$; vgl. Abbildung 51 oben). Über die Serien zur Feststellung des Ausgangsniveaus unterscheiden sich die beiden Gruppen lediglich tendenziell hinsichtlich des Kopplungskoeffizienten ($F_{(1, 15)} = 3,944$; $p = .066$; $f = 0,51$). Es kann also von einer guten Übereinstimmung der Gruppen auch bzgl. der serienbezogenen Parameter ausgegangen werden.

Tabelle 67: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB und HK von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10}.

	HE Belastung		IA Belastung x Serie		
	F _(1, 18)	p	F _(9, 162)	ε	p bzw. p _{kor.}
L	einseitiger t-Test (s.o.)		0,964	,475	.436
d _{Kova}	0,346	.564	0,775	,524	.564
d _{Rauschen}	0,238	.631	1,517	,502	.199
d _{Stabi}	0,011	.919	0,486	,277	.659

51 oben). Das gesetzte Signifikanzniveau wird zwar nur marginal verfehlt, die Hypothese ist jedoch abzulehnen. Die Trefferleistung ist infolge der Hantelbelastung nur tendenziell reduziert. Bezüglich der Beiträge der Faktoren zeigen sich über die Messzeitpunkte der Aneignungsphase keine Unterschiede und keine unterschiedlichen Veränderungen zwischen den Belastungsgruppen (vgl. Tabelle 67 und Abbildung 51 unten).

Tabelle 68: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB und HT von Wurfblock WB_{A1} zu WB_{A10}.

	HE Gruppe		IA Gruppe x Block			
	F _(1, 18)	p	F _(9, 162)	ε	p bzw. p _{kor.}	f
$s_{-}\alpha_0$	1,655	.215	1,530	,439	.203	
$s_{-}v_0$	0,589	.453	0,947	,582	.457	
$s_{-}t_0$	2,768	.113	2,797	,024	.457	
RMS _{W/t}	2,302	.147	1,133	,420	.347	
q	2,808	.111	2,095	,586	.069	0,34
$\bar{\alpha}_0$	0,793	.385	2,119	,497	.079	0,34
\bar{v}_0	0,625	.439	1,509	,437	.210	
RMS _{Aequi}	1,660	.214	2,481	,407	.057	0,37

H_L 4.1 wird abgelehnt: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HT unterscheiden sich über die Wurfblöcke von Wurfblock WB_{A1} zu Wurfblock WB_{A10} nicht ($t_{(18)} = 1,625$; $p_{(eins.)} = .061$; $f = 0,59$; vgl. Abbildung

Für die serienbezogenen Parameter werden keine Haupteffekte signifikant, für den Kopplungskoeffizient q, den mittleren Abwurfwinkel und die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlauf von der äquifinalen Bahn werden die Interaktionseffekte marginal signifikant (vgl. Tabelle 68 und Abbildung 52). Diese zeigen gerade beim ersten

Aneignungstermin unter der Belastungsbedingung HT tendenziell höhere Werte.

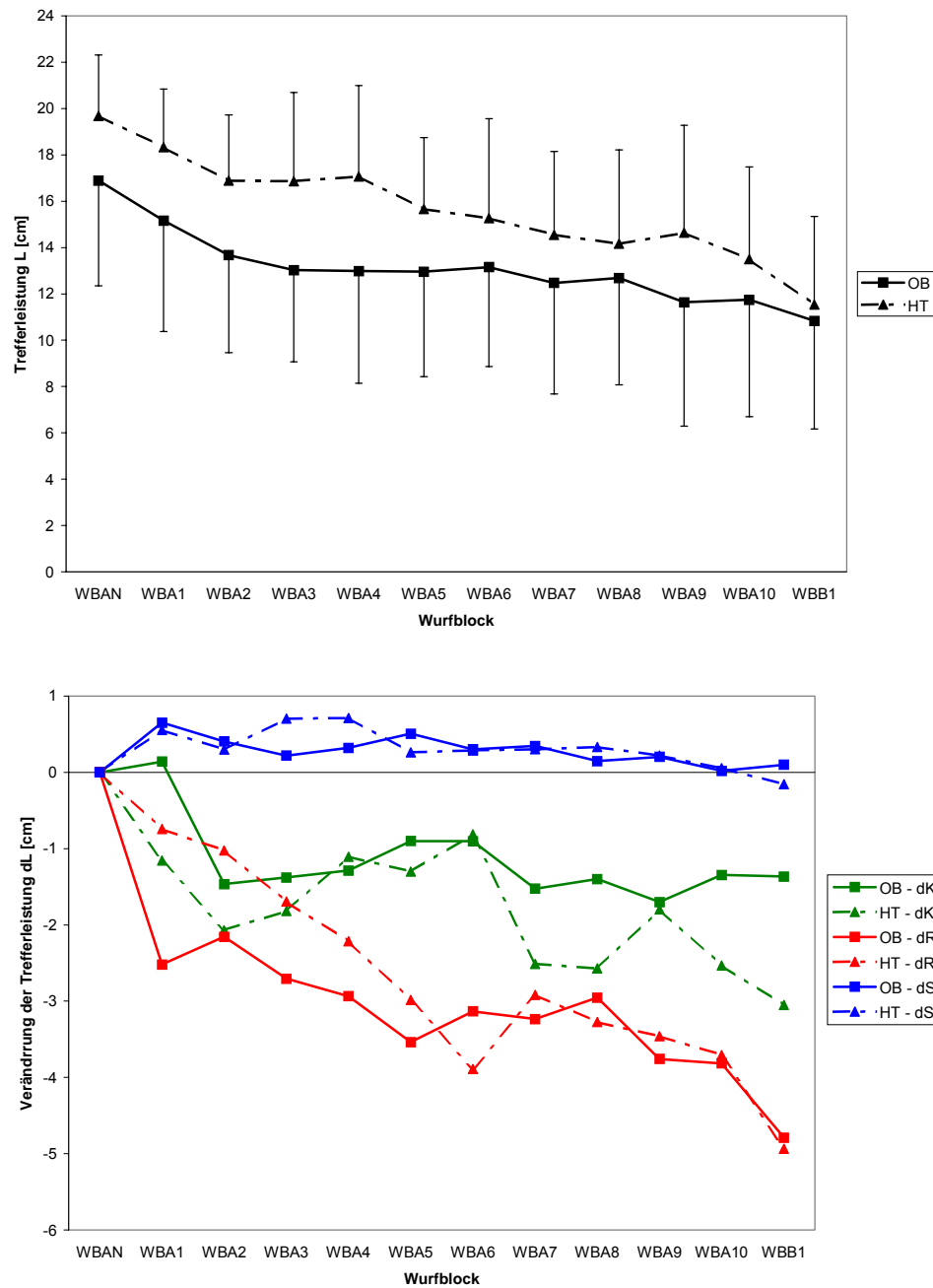


Abbildung 51: Veränderung der Trefferleistung und der Beiträge der Faktoren für die Belastungsgruppen OB und HT von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}.

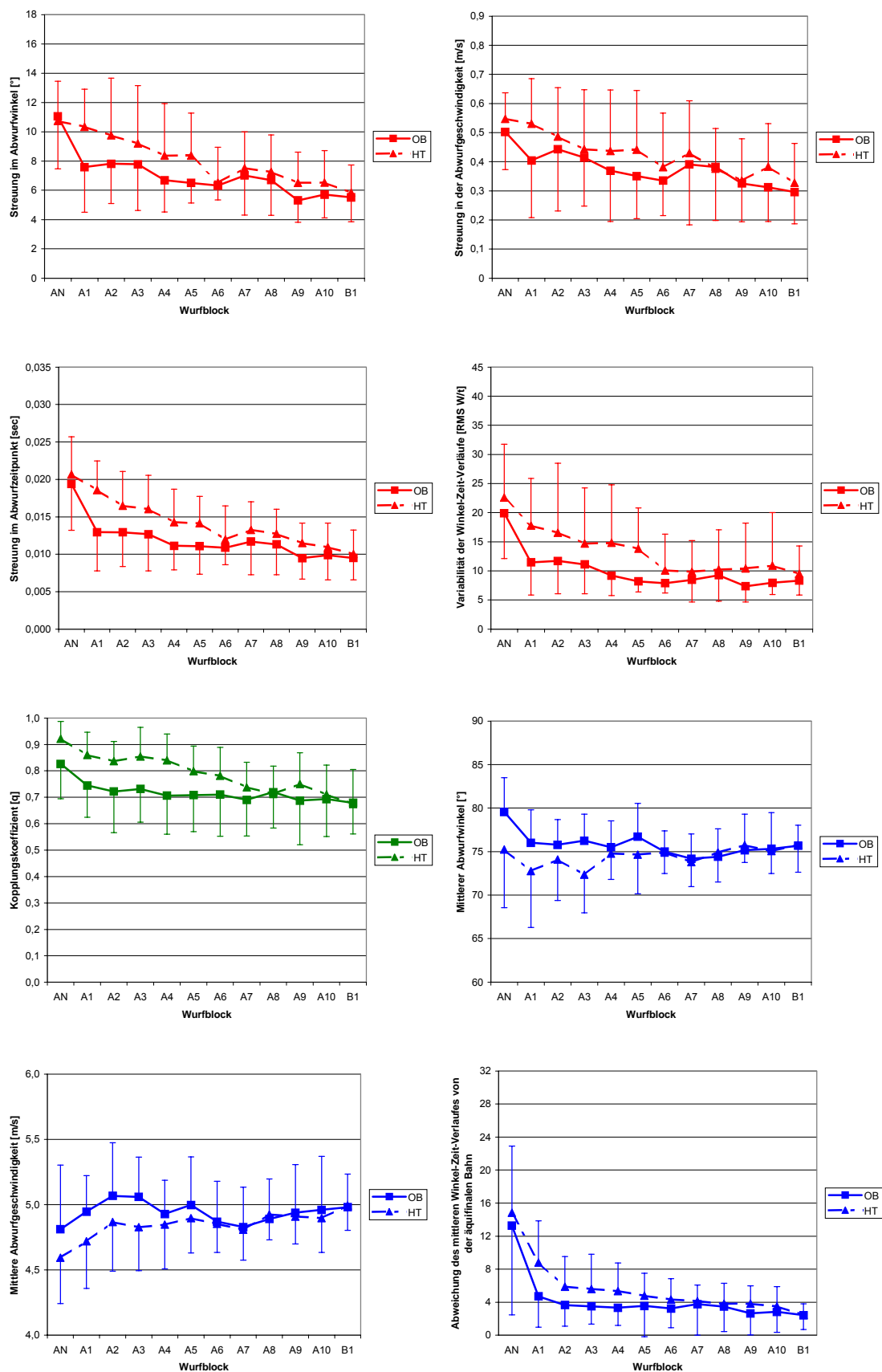


Abbildung 52: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Belastungsgruppen OB und HT von Wurfblock WB_{AN} zu WB_{B1}.

H_L 4.2 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB und HT unterscheiden sich im Wurfblock WB_{B1} nicht ($t_{(18)} = 0,370$; $p = .715$; vgl. Abbildung 51 oben). Die Beiträge der

Tabelle 69: Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktorenbeiträge zwischen den Gruppen OB und HT zu Wurfblock WB_{B1}.

	$t_{(18)}$	p
d _{Kova}	1,122	.276
d _{Rauschen}	0,212	.927
d _{Stabi}	0,093	.834

Faktoren zeigen ebenfalls keinen Gruppenunterschied auf (vgl. Tabelle 69 und Abbildung 51 unten). Im Wurfblock WB_{B1} gibt es bezüglich der serienbezogenen Parameter keine Unterschiede zwischen den Belastungsgruppen OB und HT (vgl. Tabelle 70 und Abbildung 52).

Zusammenfassung und Interpretation

Auch in diesem Fall konnte die methodische Hypothese, dass sich die Gruppen OB und HT hinsichtlich ihres

Tabelle 70: Mittelwerte, Standardabweichungen und inferenzstatistische Kennwerte der serienbezogenen Parameter für die Gruppen OB und HT zu Wurfblock WB_{B1}.

	OB ($\bar{x} \pm s$)	HT ($\bar{x} \pm s$)	$t_{(18)}$	p
$s_{-\alpha_0}$ [°]	5,52 ± 1,67	5,83 ± 1,90	0,396	.697
s_{-v_0} [m/s]	0,30 ± 0,11	0,33 ± 0,14	0,574	.573
s_{-t_0} [msec]	9,51 ± 2,93	10,04 ± 3,19	0,388	.702
RMS _{W/t}	8,35 ± 2,48	9,51 ± 4,79	0,683	.506 ^L
q	0,68 ± 0,12	0,67 ± 0,13	0,079	.938
$\bar{\alpha}_0$ [°]	75,69 ± 2,36	75,78 ± 3,14	0,074	.942
\bar{v}_0 [m/s]	4,98 ± 0,25	4,99 ± 0,19	0,118	.907
RMS _{Aequi}	2,43 ± 1,73	2,44 ± 1,36	0,009	.993

^L: korrigiert nach LEVENE

Ausgangsniveaus der Trefferleistung nicht unterscheiden, angenommen werden. Die Hypothese, dass infolge der Hantelbelastung die Trefferleistung über die Wurfblöcke der Aneignungsphase reduziert ist, musste abgelehnt werden, da der Unterschied die gesetzte Signifikanzschranke verfehlte. Tendenziell ist die Aneignungsleistung der Gruppe HT jedoch reduziert.

Es ist trotzdem zu konstatieren, dass die neuromuskulären Beanspruchungen infolge der Hantelbelastung nicht zu der erwarteten signifikanten Minderung der Trefferleistung gegenüber der Gruppe OB führen. Dies wird gestützt durch die Tatsache, dass sämtliche serienbezogenen Parameter weder einen Unterschied, noch eine unterschiedliche Veränderung über die Wurfblöcke der Aneignungsphase zeigen (einige Interaktionseffekte verfehlen die 5%-Schranke jedoch nur marginal). Möglicherweise liegt jedoch insofern ein „Schonungsverhalten“ vor, dass die induzierte Belastung nicht wirklich erschöpfend ist. Dafür sprechen die Befunde bzgl. der Belastungskennwerte (vgl. Kapitel B4.4.1.1). Schließlich wird die Erwartung bestätigt, dass sich die beiden Gruppen nicht zum Behaltenszeitpunkt unterscheiden, d.h. trotz der während der Aneignungsphase induzierten Hantelbelastungen und der damit einhergehenden tendenziell

verminderten Aneignungsleistung bleibt die Lernleistung unbeeinflusst. Dies spricht auch in diesem Falle wieder für die Unabhängigkeit des peripheren Geschehens vom prozessualen.

4.4.2 Belastungstransfer

Zuletzt sollte mit dem zweiten Hauptexperiment die Frage beantwortet werden, ob es vorteilhaft ist, eine Aneignungsphase unter einer neuromuskulären Beanspruchung zu absolvieren, wenn die zu erlernende Bewegung zu einem späteren Zeitpunkt gerade unter diesen Beanspruchungszuständen reproduziert werden soll. Die Aneignungsphase durchliefen die Gruppen OB und FR ohne neuromuskuläre Beanspruchungen, die Gruppen HK und HT hingegen unter neuromuskulären Beanspruchungen. Zur Überprüfung dieser Fragestellung werden daher die ersten und letzten beiden Gruppen zu einer neuen Stichprobe zusammengefasst (vgl. dazu näher Kapitel B4.1.6).

4.4.2.1 Belastungskennwerte

Zunächst werden auch an dieser Stelle wiederum statistische Kennwerte bzgl. der Dauer der Belastungen in der Transferphase und der Dauer der Wurfblöcke dargestellt. Die deskriptiven Kennwerte der Belastungsdauern der beiden Gruppen OB/FR und HK/HT sind Tabelle 71 zu entnehmen.

Tabelle 71: Zeitdauer der einzelnen Belastungen für die beiden Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT.

	OB/FR t [sec]	HK/HT t [sec]
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Belastung 15	79,50 ± 22,27	79,70 ± 28,58
Belastung 16	55,00 ± 22,27	51,65 ± 14,77
Belastung 17	60,50 ± 15,47	58,00 ± 17,32
Belastung 18	34,85 ± 13,50	36,60 ± 15,40
Belastung 19	38,15 ± 12,62	33,65 ± 13,64

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse über den Gruppierungsfaktor „Belastungsgruppe“ (zweifach gestuft: OB/FR und HK/HT) mit Messwiederholung auf dem Faktor „Belastungszeitpunkt“ (fünffach gestuft: Belastung 15 bis Belastung 19) zeigt keinen Unterschied zwischen den beiden Belastungsgruppen

auf ($F_{(1, 38)} = 0,152$; $p = .699$). Auch die Interaktion ist nicht signifikant ($F_{(4, 152)} = 0,389$; $\varepsilon = ,485$; $p_{\text{kor.}} = .673$). Signifikant wird jedoch der Faktor „Belastungszeitpunkt“ ($F_{(4, 152)} = 77,892$; $\varepsilon = ,485$; $p_{\text{kor.}} = .000^{***}$; $f = 1,43$). A priori durchgeführte Einzelvergleiche mit BONFERONI-Korrektur ergeben, dass sich alle Belastungszeitpunkte – mit Ausnahme der Belastungszeitpunkte 18 und 19 – signifikant voneinander unterscheiden. Die Begründung für diesen Verlauf ist die gleiche wie bereits für die Belastungen während der Aneignungsphase (vgl. B4.4.1.1). Aufgrund dieser Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass sich beide Gruppen nicht unterschiedlich belasten.

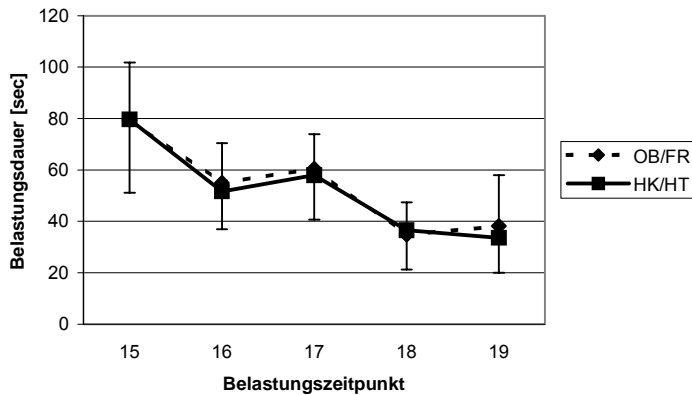


Abbildung 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der Belastungsdauern der Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT über die Belastungszeitpunkte des Belastungstransfers.

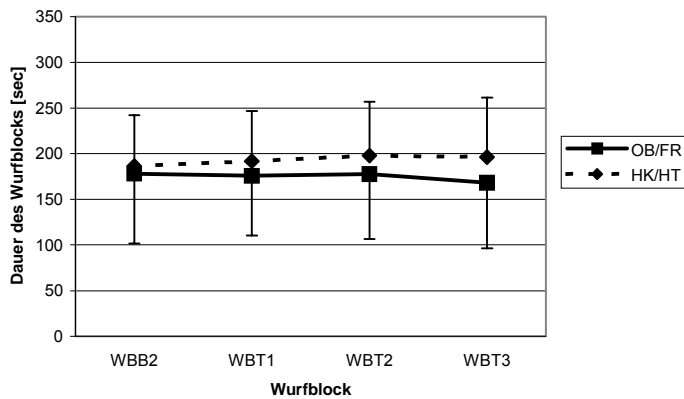


Abbildung 54: Mittelwerte und Standardabweichungen der Wurfblockdauer für die beiden Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT über die vier Wurfböcke WBB₂ bis WBT₃.

Auch für die Dauern der einzelnen Wurfböcke der Transferphase und des Wurfblocks WBB₂ (Messwiederholungsfaktor, vierfach gestuft: WBB₂ bis WBT₃) wurde über die beiden Belastungsgruppen eine zweifaktorielle Varianzanalyse gerechnet. Dabei wird weder der Haupteffekt

„Belastungsgruppe“ ($F_{(1, 38)} = 0,799$; $p = .377$), noch der Haupteffekt „Wurfblock“ signifikant ($F_{(3, 114)} = 1,566$; $p = .202$). Die Interaktion ($F_{(3, 114)} = 4,053$; $p = .009^{**}$; $f = 0,33$) wird hingegen signifikant. Während sich für die Gruppe OB/FR die Zeit einen Wurfblock zu absolvieren tendenziell verringert, steigt sie für die Gruppe HK/HT tendenziell

an. Insgesamt legen aber auch diese Befunde nahe, dass beide Gruppen kein „Schonverhalten“ infolge der Belastung zeigen.

4.4.2.2 Ergebnisse zur Trefferleistung

Hier sei zunächst in Erinnerung gerufen, dass in dieser Phase lediglich ein 2x2-Design vorliegt mit den unabhängigen Variablen „Belastungsgruppe“ (OB/FR vs. HK/HT) und Wurfblock (WBB₂ als Referenzwurfblock vs. WBT, der sich aus dem Mittelwert der drei Transferwurfböcke WBT₁ bis WBT₃ berechnet). Zunächst zeigt ein Vergleich der beiden neugebildeten Transfer-Gruppen OB/FR und HK/HT, dass sich diese über die Aneignungsphase nicht unterschiedlich verändern

($F_{(9, 342)} = 0,375$; $\varepsilon = ,477$; $p = .839$), die Gruppe HK/HT weist allerdings über die Aneignungsphase eine reduzierte Trefferleistung gegenüber der Gruppe OB/FR auf ($t_{(38)} = 2,326$; $p_{(eins.)} = 013^*$; $f = 0,97$)

H_L 5.0 wird bestätigt: Die Trefferleistungen der Gruppen OB/FR und HK/HT unterscheiden sich nicht im Wurfblock WB_{B2} ($t_{(38)} = 0,167$; $p = .868$; vgl. Abbildung 55 oben). Auch bzgl. der Faktoren-Beiträge können keine Unterschiede festgestellt werden (vgl. Tabelle 72 und Abbildung 55 unten).

Tabelle 72:
Inferenzstatistische Kennwerte bzgl. des Unterschieds der Faktoren-Beiträge zwischen den Gruppen OB/FR und HK/HT zu Wurfblock WB_{B2}.

	$t_{(38)}$	p
d _{Kova}	1,402	.169
d _{Rauschen}	0,886	.381
d _{Stabi}	0,920	.364

Auch hinsichtlich serienbezogener Parameter können zwischen den beiden Gruppen keine Unterschiede festgestellt werden ($.809 \geq p \geq .167$; vgl. Abbildung 56).

H_L 5.1 wird angenommen: Die Trefferleistungen der Gruppen OB/FR und HK/HT verringern sich vom Wurfblock WB_{B2} zum Wurfblock WB_T nicht unterschiedlich. Zunächst zeigt der a priori gerichtet formulierte Einzelvergleich eine Verringerung der Trefferleistung von WB_{B2} zu WB_T ($t_{(39)} = 6,477$; $p_{(eins.)} = 000^{***}$; $f = 0,82$). Die Interaktion wird erwartungsgemäß nicht signifikant

(vgl. Tabelle 73 und Abbildung 55 oben).

Die Verringerung der Trefferleistung zu den Wurfblöcken des Belastungs-Transfers ist auf eine signifikant verringerte Nutzung der Faktoren „Rauschreduktion“ und „Aufgabendienliche Kovariation“ zurückzuführen. Für den Faktor „Rauschreduktion“ wird hierbei auch die Interaktion signifikant, die als eine hybride zu klassifizieren ist; der Haupteffekt Wurfblock kann damit eindeutig interpretiert werden: das Rauschen ist über die Transfer-Wurfblöcke erhöht, für die

Gruppe OB/FR jedoch etwas stärker als für die Gruppe HK/HT (vgl. Tabelle 73 und Abbildung 55 unten).

Tabelle 73: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der Trefferleistungen und der Beiträge der Faktoren der Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT von Wurfblock WB_{B2} zu WB_T.

	HE Wurfblock			IA Wurfblock x Gruppe		
	$F_{(1, 38)}$	p	f	$F_{(1, 38)}$	p	f
L	einseitiger t-Test (s.o.)			0,000	.998	
d _{Kova}	23,646	.000***	0,79	0,636	.430	
d _{Rauschen}	9,567	.004**	0,50	4,646	.038*	0,35
d _{Stabi}	2,829	.101		2,459	.125	

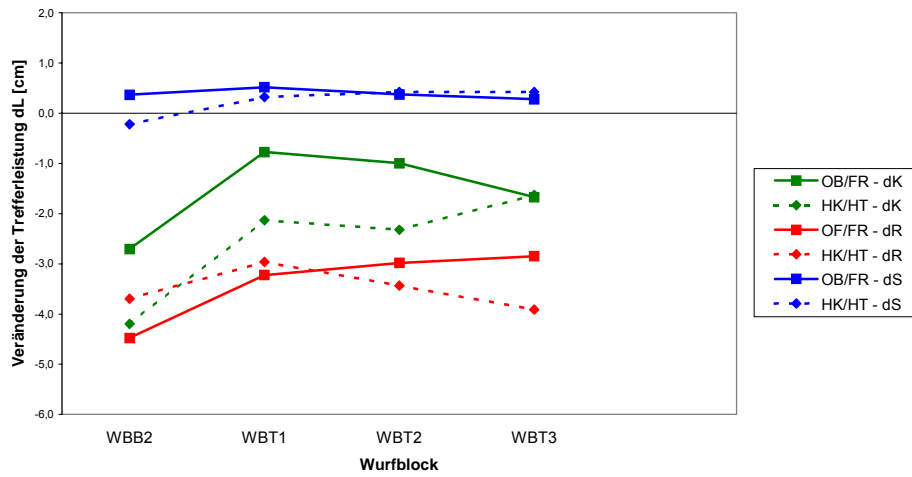
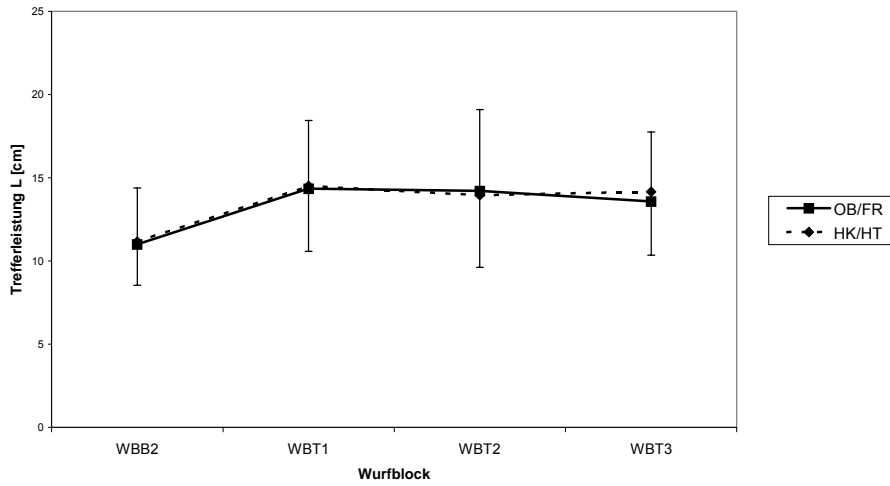


Abbildung 55: Veränderung der Treffferleistung und Beiträge der Faktoren für die Gruppen OB/FR und HK/HT über die Wurfböcke von WB_{B2} zu WB_{T3} .

Die serienbezogenen Parameter zeigen durchgängig signifikante Veränderungen vom Wurfblock WB_{B2} zu den Wurfblöcken des Belastungstransfers: die serienbezogenen Parameter des Rauschens zeigen eine Verstärkung des selben, der Kopplungskoeffizient q ist erhöht, die Abweichung des mittleren Winkel-Zeit-Verlaufes von der äquifinalen Bahn ist ebenfalls größer.

Tabelle 74: Inferenzstatistische Kennwerte zur Veränderung der serienbezogenen Parameter der Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT von Wurfblock WB_{B2} zu WB_T.

	HE Wurfblock			IA Wurfblock x Gruppe	
	F _(1, 38)	p	f	F _(1, 38)	p
s_{α_0}	17,068	.000***	0,67	0,001	.980
s_{v_0}	9,133	.004**	0,49	0,390	.536
s_{t_0}	16,785	.000***	0,66	0,001	.976
RMS _{W/t}	9,044	.005**	0,49	0,001	.978
q	13,005	.001**	0,59	0,000	.989
$\bar{\alpha}_0$	4,613	.038*	0,35	0,059	.809
\bar{v}_0	12,692	.001**	0,58	0,794	.378
RMS _{Aequi}	39,462	.000***	1,02	0,013	.910

Der mittlere Abwurfwinkel ist erhöht, wohingegen die mittlere Abwurfgeschwindigkeit erniedrigt ist. Keine Interaktion wird signifikant. Diese Befunde stützen damit die Ergebnisse bzgl. der Faktoren-Beiträge (vgl. Tabelle 74 und Abbildung 56).

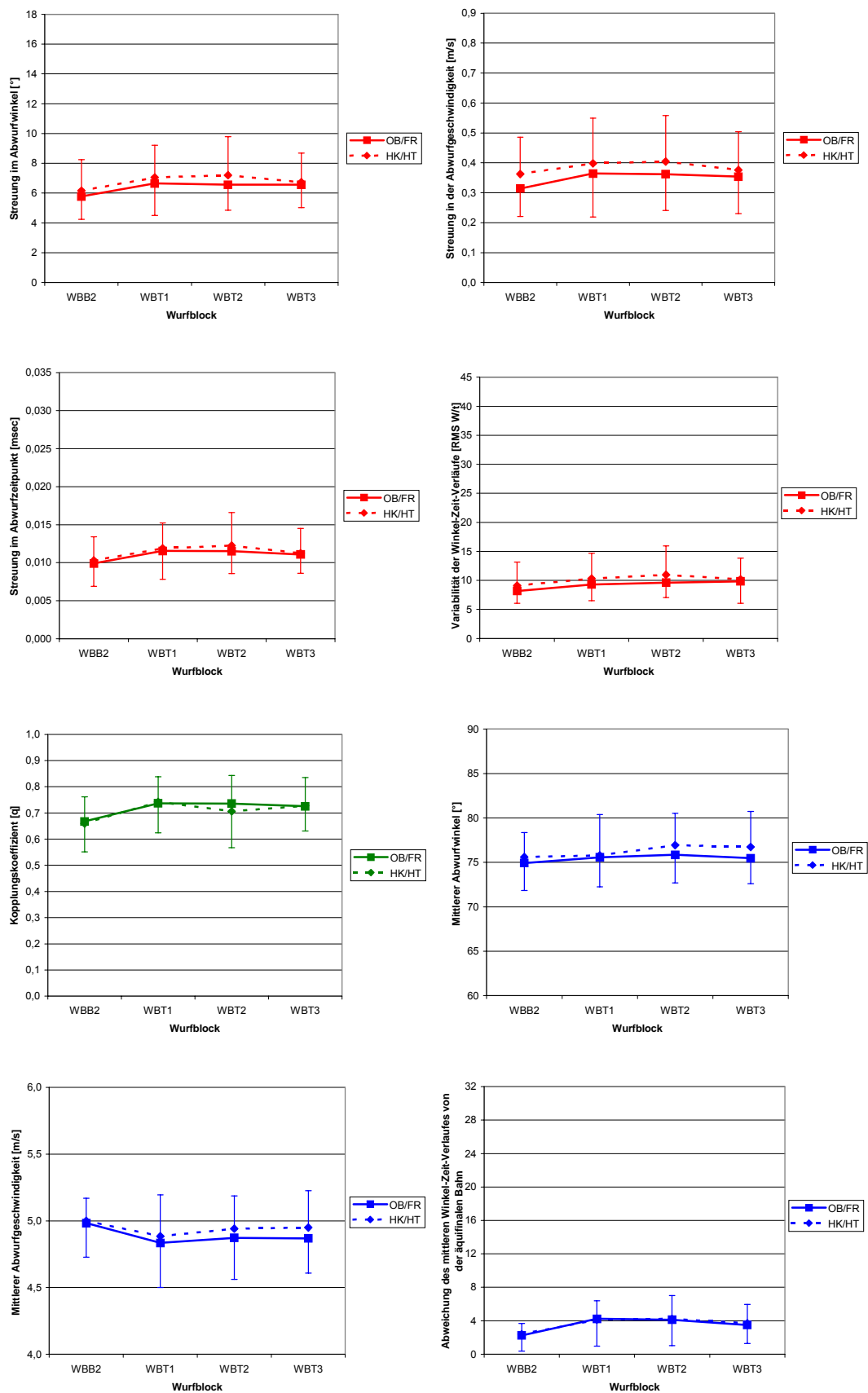


Abbildung 56: Veränderung der serienbezogenen Parameter für die Belastungsgruppen OB/FR und HK/HT von Wurfblock WBB₂ zu WBT₃.

Zusammenfassung und Interpretation

Beide Hypothesen H_L 5.0 und H_L 5.1 konnten angenommen werden: Die während der Aneignungsphase nicht neuromuskulär beanspruchte Gruppe OB/FR und die während dieser Phase unter neuromuskulären Beanspruchungen übende Gruppe HK/HT unterscheiden sich nicht in Wurfblock WB_{B2} und sie verringern ihre Trefferleistung zum Wurfblock WB_T nicht unterschiedlich. Es zeigt sich also für die Gruppe HK/HT kein Vorteil gegenüber der Gruppe OB/FR, die Aneignungsphase unter neuromuskulärer Beanspruchung absolviert zu haben, wenn die geforderte Bewegung zu einem späteren Zeitpunkt wiederum unter solchen Bedingungen zu reproduzieren ist. Zumindest für diese Bewegung scheint es somit keine positiven Anpassungseffekte an neuromuskuläre Beanspruchungszustände zu geben. Dies wird bei der hier gewählten Aufgabe auf die stark eingeschränkten Freiheitsgrade zurückgeführt. Solche positiven Anpassungseffekte sollten eher bei Aufgaben mit einer höheren Anzahl an Freiheitsgraden zu beobachten sein, bei denen zur Erreichung eines Bewegungsziels unter negativen Belastungseffekten andere Muskelgruppen kompensatorisch im Sinne einer motorischen Äquivalenz herangezogen werden können. Hier wäre es wahrscheinlich, dass in der Aneignungsphase bereits die sich bietenden Freiheitsgrade zum Erzielen einer Ergebniskonstanz ausgelotet werden, was sich dann vorteilhaft in einem Belastungstransfer auswirken sollte. Dies sollte durch weitere Experimente geprüft werden.

4.5 Gesamtzusammenfassung des zweiten Experiments und Schlussfolgerungen

Für die unbelastet übende Gruppe zeigte sich zum zweiten Aneignungstermin eine AZAN-Erhöhung zum Ausgangsniveau, die als Zweckursache im Hinblick auf die zu absolvierende Aufgabe interpretiert wurde. Über die Aneignungstermine zeigten sich erwartungsgemäß keine AZAN-Veränderungen gegenüber dem jeweiligen Ausgangsniveau. Die beobachtete Verbesserung der Trefferleistung über die Übungsphase war auch über den Zeitraum von einer Woche behaltensstabil, d.h. es wurde gelernt. Für die Gruppe, die auf dem Fahrradergometer belastet wurde, war zum Ausgangsniveau beider Termine jeweils ein gegenüber unbelasteter Gruppe höheres AZAN vorzufinden. Dies wurde als Feedforward-Prozess im Hinblick auf die zu absolvierende Belastung interpretiert. Im Sinne einer Wirkungsursache führten die induzierten Belastungen jeweils zu einer AZAN-Erhöhung, die erst zum letzten FVF-Messzeitpunkt festzustellen war. Die Trefferleistung unterschied sich aber weder über die Aneignungsphase, noch zum Behaltenstest von jener der unbelastet übenden Gruppe, d.h. Aneignungs- und

Lernleistung waren infolge der Fahrradbelastung und des damit einhergehenden erhöhten AZAN (temporär als Wirkung der Belastung) nicht beeinflusst. Die Gruppe, die die Handkurbelbelastungen während der Aneignungsphase zu absolvieren hatte, zeigte gegenüber der unbelastet übenden Gruppe kein verändertes AZAN. Die Belastung führte somit weder im Sinne einer Zweck-, noch einer Wirkungsursache zu AZAN-Effekten. Die Trefferleistung war jedoch über die Aneignungsleistung infolge der neuromuskulären Beanspruchungen reduziert. Allerdings war kein Unterschied zum Behaltenstermin festzustellen, d.h. trotz reduzierter Aneignungsleistung war die Lernleistung nicht beeinträchtigt. Tendenziell zeigten sich die gleichen Ergebnisse für die Gruppe, die während der Aneignungsphase die Hantelbelastungen durchzuführen hatte. Die verminderte Trefferleistung über die Aneignungsphase gegenüber der Gruppe OB war aber nur marginal signifikant, d.h. dieser Effekt zeigte sich nur in der Tendenz.

Schließlich musste konstatiert werden, dass das Absolvieren einer Aneignungsphase unter neuromuskulären Beanspruchungseffekten nicht zu Vorteilen führt, wenn die gleiche Bewegung zu einem späteren Zeitpunkt gerade unter solchen Effekten wieder reproduziert werden soll. Zumindest bei dieser Bewegungsaufgabe zeigt sich also keine Anpassung an neuromuskuläre Beanspruchungen, was zudem stützt, dass die hier vorgefundene Variabilität tatsächlich als Rauschen zu klassifizieren ist.

Die beiden allgemeinen Forschungshypothesen, die in Kapitel A14.2 bzgl. Aneignungs- und Lernleistung formuliert wurden, können teilweise als bewährt angesehen werden. Die Annahme, dass konditionelle Belastungen, die aufgrund erschöpfender muskelgruppenspezifischer neuromuskulärer Beanspruchungen während der Aneignungsphase einer trefferorientierten Wurfbewegung die Aneignungsleistung vermindern, nicht zu einer Veränderung der Lernleistung führen, hat sich vor dem Hintergrund der ermittelten Ergebnisse bzgl. der Handkurbelbelastung bewährt. Aufgrund der Hantelbelastung hat sich diese allgemeine Forschungshypothese bedingt bewährt. Bedingt insofern, als dass die Aneignungsleistung infolge der Hantelbelastung lediglich tendenziell verringert war. Akzeptiert man keine tendenzielle Interpretation, so konnte sich diese allgemeine Hypothese aufgrund der Ergebnisse bzgl. der Hantelbelastung nicht bewähren, da die Voraussetzung, dass die Aneignungsleistung infolge der konditionellen Belastung über die Aneignungsphase reduziert ist, nicht erfüllt war. Als möglicher Grund dafür wurde angeführt, dass die Hantelbelastung nicht zu den erhofften erschöpfenden neuromuskulären Beanspruchungen führte, also ein „Schonungsverhalten“ von Seiten der Probanden vorlag. Die allgemeine Forschungshypothese, dass sich konditionelle Belastungen, die während Aneignungsphase einer trefferorientierten Wurfbewegung nicht die

aufgabenspezifische Muskulatur beanspruchen, weder die Aneignungs- noch die Lernleistung beeinflussen, kann aufgrund der vorgefundenen Ergebnisse als bewährt angesehen werden.

5 Gesamtzusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit dem Zusammenhang von konditionellen Belastungen und Ergebniskonstanz. Konkret sollte vor dem Hintergrund des Drei-Faktoren-Modells (OLIVIER 1997) zunächst überprüft werden, wie sich einerseits zentralnervöse, andererseits neuromuskuläre Beanspruchungen auf die Bewegungsausführung und das Bewegungsergebnis bei einer trefferorientierten Wurfbewegung auswirken. Die Kriteriumsaufgabe war der virtuelle Dartwurf.

Im ersten Hauptexperiment gelang es auf zentralnervöser Ebene nicht, erwartete belastungsbedingte Anstiege des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus hervorzurufen. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die motorische Aufgabe per se bereits Feedforward-Prozesse auszulösen scheint, die zu einem Anstieg des AZAN führen. Die zunächst gewählte Fahrradbelastung konnte dann keinen darüber hinaus gehenden AZAN-Anstieg hervorrufen. Gegenüber unbelasteter Bedingung zeigte sich kein Unterschied im Bewegungsergebnis, einzelne Parameter der Bewegungsausführung waren infolge der Fahrradbelastung tendenziell verändert. Erschöpfende neuromuskuläre Beanspruchungen führten zu erwarteten negativen Auswirkungen auf das Bewegungsergebnis und einzelne ausführungsbezogene Parameter.

Das zweite Experiment beschäftigte sich mit der Frage, welche Auswirkungen die beschriebenen Beanspruchungen auf die Aneignungs- und die Lernleistung bei dieser Bewegungsaufgabe haben. Auch an dieser Stelle wurden sowohl ergebnisbezogene, als auch ausführungsbezogene Parameter zur Beschreibung herangezogen. Bei diesem Experiment konnte auf zentralnervöser Ebene der Effekt einer Feedforward-Regelung des AZAN im Hinblick auf die motorische Aufgabe repliziert werden. Jedoch: Es scheint, dass die Aufgabe bereits einmal in einer entsprechenden Übungsstruktur durchgeführt werden muss, bevor solche Effekte greifen können. Darüber hinaus gehende AZAN-Anstiege infolge einer Fahrradbelastung konnten erst zum Ende eines jeweiligen Übungsprozesses festgestellt werden. Das Aneignen und Lernen der Bewegungsaufgabe ist infolge der Fahrradbelastung und trotz zumindest temporär belastungsbedingt erhöhtem AZAN nicht beeinflusst. Infolge der neuromuskulären Beanspruchungen ist die Aneignungsleistung reduziert (dies gilt für eine Bedingung nur tendenziell). Nur vereinzelt sind auch ausführungsbezogene Parameter verändert. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Verminderung der Aneignungsleistung bei den einzelnen Versuchspersonen über unterschiedliche ausführungsbezogene Kenngrößen

beeinträchtigt wird, so dass in der Gesamtheit keine bestimmte Ausführungsgröße für diesen Effekt verantwortlich ist. Dies sollten weitere Untersuchungen prüfen. Die Lernleistung ist jedoch trotz verminderter Aneignungsleistung nicht beeinträchtigt. Dies spricht wiederum dafür, dass das periphere Geschehen vom zentralen Geschehen unabhängig ist. Zuletzt konnte festgestellt werden, dass das Aneignen einer Bewegung unter neuromuskulären Beanspruchungen keine Vorteile bringt, wenn die geforderte Bewegungsaufgabe zu einem späteren Zeitpunkt wieder unter den gleichen Beanspruchungsbedingungen zu absolvieren ist. Dennoch sollte in zukünftigen Untersuchungen überprüft werden, ob es trotz allem vorteilhaft sein kann, wenn die Bewegungsaufgabe eine höhere Anzahl an Freiheitsgraden als die verwendete aufweist. Im Zustand wirkender Belastungseffekte könnten dann möglicherweise andere, in bezug auf das Bewegungsergebnis motorisch äquivalente Techniken, erkundet werden, die dann einen Leistungsvorteil zu einem späteren Reproduktionszeitpunkt unter genau diesen Belastungseffekten plausibel erscheinen lassen.

Interessant erscheint mir gerade die Tatsache, dass auch ein infolge konditioneller Belastungseffekte über die Aneignungsphase erhöhtes motorisches Rauschen durch Übung verringert werden kann, und dies nicht weniger, als unter unbelasteten Bedingungen. Hier, so finde ich, bietet sich ein interessanter Ansatz für die Automatisierungsforschung. Hier wird gerade über extensives Üben versucht, eine Bewegungsausführung gegenüber einer Doppelaufgabe störresistent zu machen, ihre konstante Reproduktion sicherzustellen. Nach den in dieser Arbeit vorliegenden Befunden, sollte es auch unter Belastungseffekten gelingen, die bei hohen Übungsraten auch durch die motorische Aufgabe selbst hervorgerufen werden können. Dies sollten Experimente im Rahmen der Automatisierungsforschung überprüfen.

Als Resümee für die Trainingspraxis kann festgehalten werden, dass für das sportliche Techniktraining ein weiterer Befund vorliegt, der die Auffassung stützt, dass Techniktraining im Zustand konditioneller Belastungseffekte durchgeführt werden kann, und dass trotz reduzierter Aneignungsleistung die Lernleistung nicht beeinträchtigt ist. Dies entlastet den Trainer bei der Planung und Organisation des Trainings. Er kann Techniktraining nach Bedarf planen, ohne vorausgegangene Belastungseffekte mit zu berücksichtigen. Allerdings sei an dieser Stelle einschränkend nochmals darauf hingewiesen: Eine erhöhte Verletzungsgefahr durch Techniktraining im Zustand konditioneller Belastungseffekte darf nicht akzeptiert werden.

C Literaturverzeichnis

- ABBBS, J.H./COLE, K.J.: Neural mechanisms of motor equivalence and goal achievement. In: WISE, S.P. (ED.): Higher brain functions. New York u.a.: John Wiley & Sons 1987, 15-44.
- ADAMS, J.A.: A closed-loop theory of motor learning. *Journal of motor behavior* 3 (1971), 111-150.
- ALDERMANN, R.B.: Influence of local fatigue on speed and accuracy in motor learning. *Research Quarterly* 36 (1965), 131-140.
- ANDERSON, M./PITCAIRN, T.: Motor control in dart throwing. *Human Movement Science* 5 (1986), 1-18.
- ARUTYUNYAN, G.H./GURFINKEL, V.S./MIRSKII, M.L.: Investigation of aiming at a target. *Biophysics* 13 (1968) 3, 536-538.
- ATWATER, A.E.: Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. *Exercise Sport Science Review* 7 (1979), 43-85.
- BENSON, D.W.: Influence of imposed fatigue on learning a jumping task and a juggling task. *Research Quarterly* 39 (1968) 2, 251-257.
- BERG, W.P./WADE, M.G./GREER, N.L.: Visual regulation of gait in bipedal locomotion: revisiting Lee, Lishman, and Thomson (1982). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 20 (1994) 4, 854-863.
- BERNSTEIN, N.A.: *Bewegungsphysiologie*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1975.
- BERTALANFFY, L. VON: Theoretical models in biology and psychology. In: KRECH, D./KLEIN, G.S.: *Theoretical models and personality theory*. Durham (NC): Duke University Press 1952, 24-38.
- BIGLAND-RITCHIE, B: EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions. In: PORTER, R./WHELAN, J.: (EDS.): *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. London: Pitman Medical 1981, 130-156.
- BIGLAND-RITCHIE, B./BELLEMARE, F./WOODS, J.J.: Excitation frequencies and sites of fatigue. In: JONES, N.L./MCCARTNEY, N./MCCOMAS, A.J. (EDS.): *Human Muscle Power*. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1986, 197-213.
- BIRBAUMER, N./SCHMIDT, R.F.: *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer 1991.
- BIRBAUMER, N./SCHMIDT, R.F.: Wachen, Aufmerksamkeit und Schlafen. In: SCHMIDT, R.F./THEWS, G.: *Physiologie des Menschen*. Berlin u.a.: Springer 1995, 141-153 (a).

- BIRBAUMER, N./SCHMIDT, R.F.: Lernen und Gedächtnis. In: SCHMIDT, R.F./THEWS, G.: Physiologie des Menschen. Berlin u.a.: Springer 1995, 154-166 (b).
- BLISCHKE, K./MARSCHALL, F./MÜLLER, H./DAUGS, R.: Augemented information in motor skill acquisition. In: VANDEN AUWEELE, Y./BAKKER, F./BIDDLE, S./DURAND, M./SEILER, R. (EDS.): Psychology for physical educators. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1999, 257-287.
- BONNARD, M./SIRIN, A.V./ODDSSON, L./THORSTENSSON, A.: Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaption processes in humans. Neuroscience Letters 166 (1994) 1, 101-105.
- BORTZ, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin u.a.: Springer 1993.
- BORTZ, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin u.a.: Springer 1999.
- BORTZ, J./DÖRING, N.: Forschungsmethoden und Evaluation. Berlin u.a.: Springer 1995.
- BORTZ, J./LIENERT, G.A./BOEHNEKE, K.: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Berlin u.a.: Springer 1990.
- BÖS, K.: Bewegungskonstanz. In: RÖTHIG, P. u.a. (HRSG.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 82.
- BRACH, M./SCHUMANN, H./HECK, H.: Aktive Regulation zentralnervaler Aktivierung bei Radsportlern vor Belastungen und vor Pausen. Zeitschrift für Elektroenzephalographie, Elektromyographie und verwandte Gebiete 28 (1997), 172.
- BREUER, F.: Wissenschaftstheorie für Psychologen. Eine Einführung. Arbeiten zur Sozialwissenschaftlichen Psychologie, Beiheft 1. Münster: Aschendorff 1977.
- BÜSCH, D.: Sportmotorisches Lernen und Ausdauerbelastungen. Zum Einfluß von Ausdauerbelastungen auf das 'allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau' und das sportmotorische Lernen. Europäische Hochschulschriften, Reihe VI Psychologie, Bd. 443. Frankfurt a.M. u.a.: Peter Lang 1993.
- BULLOCK, D./CONTRERAS-VIDAL, J.: How spinal neural networks reduce discrepancies between motor intention and motor realization. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (EDS.): Variability and motor control. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993, 183-221.
- BURGARD, M.: Zum Einfluß unterschiedlicher Übungsprozeduren auf die Ausführungsvariabilität, Ergebniskonstanz und Trefferleistung beim Basketball-Freiwurf. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1997.
- CALVIN, W.H.: A stone's throw and its launch window: Timing precision and its implications for language and hominid brains. Journal of Theoretical Biology 104 (1983), 121-135.

- CALVIN, W.H.: The ascent of mind: Ice age climates and the evolution of intelligence. New York u.a.: Bantam 1991.
- CAPLAN, C.S.: The influence of physical fatigue on massed versus distributed motor learning. Unveröffentlichte Dissertation. University of California, Berkley 1969.
- CARL, K./MECHLING, H.: Techniktraining. In: RÖTHIG, P./BECKER, H./CARL, K./KAYSER, D./PROHL, R. (HRSG.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 506-508.
- CARLTON, L.G.: Visual processing time and the control of movement. In: PROTEAU, L./ELLIOTT, D. (HRSG.): Vision and motor control. Amsterdam: North-Holland 1992, 3-31.
- CARLTON, L.G./KIM, K.H./LIU, Y.T./NEWELL, K.M.: Impulse variability in isometric tasks. Journal of Motor Behavior 25 (1993) 1, 33-43.
- CARLTON, L.G./NEWELL, K.M.: Force variability and movement accuracy in space-time. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 14 (1988) 1, 24-36.
- CARLTON, L.G./NEWELL, K.M.: Force variability and characteristics of force production. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (EDS.): Variability and motor control. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993, 15-36
- CARRON, A.V.: Physical fatigue and motor learning. Research Quarterly 40 (1969) 4, 682-686.
- CARRON, A.V.: Motor performance and learning under physical fatigue. Medicine and Science in Sports 4 (1972) 2, 101-106.
- CARSON, L.M./WIEGAND, R.L.: Motor schema formation and retention in young children: a test of Schmidt's schema theory. Journal of Motor Behavior 11 (1979) 4, 247-251.
- CHAMBERLIN, C./LEE, T.: Arranging practice conditions and designing instruction. In: SINGER, R.N./MURPHEY, M./TENNANT, L.K. (EDS.): Handbook of research on sport psychology. New York: Macmillan 1993, 213-241.
- CHAPLIN, P.: The facts in the case of 'Bigfoot' Annakin. http://web.ukonline.co.uk/patrick.chaplin/facts_in_the_case_of.htm, i.F.v. 12.02.2001.
- CLIFTON, M.A.: Practice variability and children's motor behavior. Perceptual and Motor Skills 60 (1985), 471-476.
- COCHRAN, B.J.: Effect of physical fatigue on learning to perform a novel motor task. Research Quarterly 46 (1975) 2, 243-249.
- CRAIK, F.I.M./LOCKHART, R.S.: Levels of processing: a framework for memory research. Journal of verbal learning and verbal behavior 11 (1972) 6, 671-684.

- CRATTY, B.J.: Movement behavior and motor learning. Philadelphia: Lea & Febiger 1967.
- CUMMINS, T.D./GLADDEN, L.B.: Responses to submaximal and maximal arm cycling above, at, and below heart level. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (1983) 4, 295-298.
- DARLING, W.G./COOKE, J.D.: Changes in the variability of movement trajectories with practice. *Journal of Motor Behavior*. 19 (1987) 3, 291-309.
- DAUGS, R.: Motorische Kontrolle als Informationsverarbeitung: Vom Auf- und Niedergang eines Paradigmas. In: BLASER, P./WITTE, K./STUCKE, C. (HRSG.): Steuer- und Regelvorgänge der menschlichen Motorik. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 62. St. Augustin: Academia 1994, 13-37.
- DAUGS, R./OLIVIER, N./WIEMEYER, J./PANZER, S.: Wissenschaftstheoretische und methodische Probleme bei der sportwissenschaftlichen Erforschung von Bewegung, Motorik und Training. In: WIEMEYER, J. (HRSG.): Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 105. Hamburg: Czwalina 1999, 13-36.
- DAVIS, J.M./BAILEY, S.P.: Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29 (1997) 1, 45-57.
- DICKINSON, J./MEDHURST, C./WHITTINGHAM, N.: Warm-up and fatigue in skill acquisition and performance. *Journal of motor behavior* 11 (1979) 1, 81-86.
- DILLINGER, M.-O.: FVF-Dynamik während einer 90minütigen Fahrradergometerbelastung mit 85% der individuellen anaeroben Schwelle. Unveröffentlichtes Manuskript. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes 1996.
- DILLINGER, M.-O.: Effekte einer belastungsbedingten Reduktion des muskelgruppenspezifischen Schnellkraftniveaus auf Aneignungs- und Lernleistungen beim Training der Tiefstarttechnik. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1997.
- DILLINGER, M.-O.: Konstruktivismus und seine Bedeutung für die Bewegungswissenschaft. Unveröffentlichte Seminararbeit. Fachrichtung Erziehungswissenschaft. Universität des Saarlandes 1999.
- DILLINGER, M.-O./MÜLLER, H./DAUGS, R.: Konditionelle Belastungen und Ergebniskonstanz. In: Berichtsband zur Jahrestagung der dvs-Sektion Trainingswissenschaft "Training und Ermüdung: Mechanismen und Auswirkungen auf das Kraft-Technik-Training" vom 25./26. Juni 1999 in Jena. Hamburg: Czwalina 2001 (i.D.).

- DRILL, R.: Der Hammerschlag. In: KRÜGER, F./KLEMM, O. (HRSG.): Motorik. Neue Psychologische Studien, Bd. 9, Heft. 2. München: Beck 1933, 139-208.
- DUDEL, J.: Erregungsbildung und -leitung im Nervensystem. In: DUDEL, J./MENZEL, R./SCHMIDT, R.F. (HRSG.): Neurowissenschaft.: vom Molekül zur Kognition. Berlin u.a.: Springer 1996, 87-114.
- DWYER, J.: Influence of physical fatigue on motor performance and learning. *Physical Educator* 41 (1984) 3, 130-136.
- EDWARDS, R.H.T.: Human muscle function and fatigue. In: PORTER, R./WHELAN, J. (EDS.): Human muscle fatigue: physiological mechanisms. London: Pitman Medical 1981, 1-18.
- ETNYRE, B.R.: Accuracy characteristics of throwing as a result of maximum force effort. *Perceptual and Motor Skills* 86 (1998), 1211-1217.
- FALLER, A.: Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion. Stuttgart u.a.: Thieme 1988.
- FEHRES, K./MARSCHALL, F.: Verfahren und Probleme bei der Analyse von Meßwiederholungsdesigns mit SPSS-X, MANOVA und BMDP4V: In: FAULBAUM, F./HAUX, R./JOCKEL, K.-H. (HRSG.): SoftStat '89 – Fortschritte der Statistik-Software 2. Stuttgart: Fischer 1990, 66-73.
- FEIGE, K.: Präzisionsleistungen menschlicher Motorik. Beiträge zur Psychologie der Leibesübungen. Beiheft zur Zeitschrift für angewandte Psychologie, Bd. 69. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1934.
- FELDMAN, G.A.: Functional tuning of the nervous system with control of movements or maintenance of a steady posture. II. Controllable parameters of the muscle. *Biophysics* 11 (1966a), 565-578.
- FELDMAN, G.A.: Functional tuning of the nervous system with control of movements or maintenance of a steady posture. III. Mechanographic analysis of execution by man of the simplest motor task. *Biophysics* 11 (1966b), 667-675.
- FETZ, F./JÄGER, B.: Entwicklung der Wurfgenauigkeit. *Sportonomics* 1 (1995) 1, 17-26.
- FIEDLER, M.: Zum Problem der Präzisionsleistungen im Sportspiel. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Deutschen Hochschule für Körperkultur Leipzig* 5 (1963) 1, 49-72.
- FIEDLER, M.: Zur Entwicklung der Ziel- und Bewegungsgenauigkeit im Volleyballspiel. *Körperkultur* 16 (1967) 12, 1063-1077.
- FITTS, P.M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology* 47 (1954), 381-391.
- FORESTIER, N./NOUGIER, V.: The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human. *Neuroscience Letters* 252 (1998) 187-190.
- FREIWALD, J.: Aufwärmen im Sport. Reinbek: Rowohlt 1991.

- FREIWALD, J.: Prävention und Rehabilitation im Sport. Reinbek: Rowohlt 1995.
- FRICK, U.: Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Köln: Strauß 1993.
- FROMME, A./REER, R./WUNSCHIK, M./JEROSCH, J.: Die Freiwurflleistung unter ansteigender körperlicher Belastung bei Basketballern unterschiedlicher Spielstärke. In: KINDERMANN, W./SCHWARZ, L. (HRSG.): Bewegung und Sport – eine Herausforderung für die Medizin. Wehr: Ciba-Geigy 1995, 98.
- GELFAND, I.M./TSETLIN, M.L.: Some methods of control of complex systems. Russian mathematical surveys 17 (1962), 95-116.
- GERTHSEN, C.: Physik. Springer: Berlin u.a. 1995.
- GODWIN, M.A./SCHMIDT, R.A.: Muscular fatigue and learning a discrete motor skill. Research Quarterly 42 (1971) 4, 343-354.
- GOLLHOFER, A./KOMI, P.V./FUJITSUKA, N./MIYASHITA, M.: Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. II. Changes in neuromuscular activation patterns of human skeletal muscle. International Journal of Sports Medicine 8 (1987), 38-47.
- GOLLHOFER, A./KOMI, P.V./MIYASHITA, M./AURA, O.: Fatigue during stretch-shortening cycle exercises. Changes in mechanical performance of human skeletal muscle. International Journal of Sports Medicine 8 (1987), 71-78.
- GOTTLIEB, G.L./CORCOS, D.M./AGARWAL, G.C.: Strategies for the control of voluntary movements with one mechanical degree of freedom. Behavioral and Brain Sciences 12 (1989), 189-250.
- GOTTLIEB, G.L./CORCOS, D.M./JARIC, S./AGARWAL, G.C.: Practice improves even the simplest movements. Experimental Brain Research 73 (1989), 436-440.
- GROSSER, M./NEUMAIER, A.: Techniktraining. München: BLV 1982.
- GUAY, M./SALMONI, A./LAJOIE, Y.: The effects of different knowledge of results spacing and summarizing techniques on the acquisition of a ballistic movement. Research Quarterly 70 (1999) 1, 24-32.
- GÜNZ, D.: Psychische Belastung und Anforderungsbewältigung. Medizin und Sport 27 (1987) 3, 90-94.
- GÜNZ, D.: Nutzungsmöglichkeiten der Bestimmung der Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) zur Beantwortung sportwissenschaftlicher Fragestellungen. In: OLIVIER, N./BÜSCH, D./DAUGS, R. (HRSG.): Untersuchungen zur Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sport. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 91, 4. Köln: Strauss 1991, 161-183
- GÜNZ, D./KUNATH, P.: Veränderungen psychophysischer Parameter unter den Bedingungen des sportlichen Trainings. Medizin und Sport 24 (1984) 3, 82-86.
- HACKER, W.: Arbeitspsychologie. Deutscher Verlag der Wissenschaften: Berlin 1986.

- HALLIDAY, D./RESNICK, R.: Physik. Teil 1. De Gruyter: Berlin u.a. 1993.
- HAMILTON, G.R./REINSCHMIDT, C.: Optimal trajectory for the basketball free throw. *Journal of Sports Sciences* 15 (1997), 491-504.
- HAMPE, D.: Die Trainingseinheit. In: SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A. (HRSG.): Trainingswissenschaft. Berlin: Sportverlag 1994, 431-436.
- HARIG, C.: Zum Einfluß unterschiedlicher Sprunghöhen-Sollwerte einer zu optimierenden Sprungbewegung auf das ‚allgemeine zentralnervöse Aktivierungsniveau‘ und den Optimierungsprozeß. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1993.
- HARIG, C.: Zum Einfluß konditioneller Belastungen auf das motorische Gleichgewicht. Unveröffentlichte Dissertation. Philosophische Fakultät, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1998.
- HARRIS, R.C./EDWARDS, R.H.T./HULTMAN, E./NORDESJÖ, L.-O./NYLIND, B./SAHLIN, K.: The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv* 367 (1976), 137-142.
- HAY, J.G.: The biomechanics of sports techniques. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice-Hall 1978.
- HEBESTREIT, C.: Die Trainingseinheit. In: HARRE, D. (Gesamtred.): Trainingslehre: Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings. Berlin: Sportverlag 1986, 250-259.
- HECKHAUSEN, H./STRANG, H.: Efficiency under record performance demands: exertion control – an individual difference variable? *Journal of Personality and Social Psychology* 55 (1988) 3, 489-498.
- HENDERSON, S.E.: Role of feedback in the development and maintenance of a complex skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 3 (1977) 2, 224-233.
- HESS, W.-D. (LTG.): Leichtathletik – Sprint, Lauf, Gehen. Technik der Topathleten, Bd. 3. Berlin: Sportverlag 1991.
- HIGGINS, J.R./SPAETH, R.K.: Relationship between consistency of movement and environmental condition. *Quest* 17 (1972), 61-69
- HOLLINGWORTH, H.L.: The inaccuracy of movement. *Archives of Psychology* 13 (1909), 1-87.
- HOLLMANN, H.: Über kardiopulmonale und metabolische Reaktionen bei Fahrradergometerarbeit im Sitzen, Tretkurbelarbeit im Liegen, Drehkurbelarbeit im Stehen, Laufbandbelastung und beim Kletterstufentest aus der Sicht klinischer Untersuchungen. Dissertation, Universität Köln. Köln 1985.
- HOLLMANN, W./HETTINGER, T.: Sportmedizin: Arbeits- und Trainingsgrundlagen. Stuttgart, New York: Schattauer 1990.

- HORE, J./WATTS, S./MARTIN, J./MILLER, B.: Timing of finger opening and ball release in fast and accurate overarm throws. *Experimental Brain Research* 103 (1995), 277-286.
- HORE, J./WATTS, S./TWEED, D./MILLER, B.: Overarm throws with the nondominant arm: kinematics of accuracy. *Journal of Neurophysiology* 76 (1996) 6, 3693-3704.
- HOTZ, A.: Ausbildung der sporttechnischen Fertigkeiten - Techniktraining. In: SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A. (HRSG.): *Trainingswissenschaft*. Berlin: Sportverlag 1994, 295-309.
- HULTMAN, E./BERGSTRÖM, J./MCLENNAN ANDERSON, N.: Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 19 (1967), 56-66.
- HUSSY, W./MÖLLER, H.: Hypothesen. In: HERMANN, T./TACK, W. (HRSG.): *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B Methodologie und Methoden, Serie I Forschungsmethoden der Psychologie, Band 1 Methodologische Grundlagen der Psychologie*. Göttingen u.a.: Hogrefe 1994, 475-507.
- JAEGERS, S.M.H.J./PETERSON, R.F./DANTUMA, R./HILLEN, B./GEUZE, R./SCHELLEKENS, J.: Kinesiologic aspects of motor learning in dart throwing. *Journal of Human Movement Studies* 16 (1989), 161-171.
- JANSSEN, J.-P./CARL, K./SCHLICHT, W./WILHELM, A. (HRSG.): *Synergetik und Systeme im Sport. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 84*. Schorndorf: Hofmann 1996.
- JARIC, S./BLESIC, S./MILANOVIC, S./RADOVANOVIC, S./LJUBISAVLJEVIC, M./ANASTASIJEVIC, R.: Changes in movement final position associated with agonist and antagonist muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology* 80 (1999) 5, 467-471.
- JASIEWICZ, J./SIMMONS, R.W.: Response timing accuracy as a function of movement velocity and distance. *Journal of Motor Behavior* 28 (1996) 3, 224-232.
- JOHNSTON, J./REARICK, M./SLOBOUNOV, S.: Movement-related cortical potentials associated with progressive muscle fatigue in a grasping task. *Clinical neurophysiology* 112 (2001) 1, 68-77.
- JORDAN, M.I.: Motor learning and the degrees of freedom problem. In: JEANNEROD, M. (ED.): *Attention and performance XIII. Motor representation and control*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum 1990, 796-836.
- KANDEL, E.R./SCHWARTZ, H./JESSELL, T.M.: *Neurowissenschaften: Eine Einführung*. Heidelberg u.a.: Spektrum 1995.
- KARLSSON, J.: Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man. *Acta Physiologica Scandinavica Supplement* 358 (1971), 1-72.

- KAWATO, M.: Trajectory formation in arm movements: Minimization principles and procedures. In: ZELAZNIK, H.N. (ED.): Advances in motor learning and control. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1996, 225-259.
- KELSO, J.A.S./DING, M.: Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (Eds.): Variability and motor control. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993, 291-316.
- KERR, R./BOOTH, B.: Specific and varied practice of motor skill. *Perceptual and Motor Skills* 46 (1978), 395-401.
- KERR, R./BOOTH, B.: Das Lernen von Fertigkeiten bei 7- und 9jährigen Kindern und die Schema-Theorie. *Leistungssport* 10 (1980) 2, 120-123.
- KINDERMANN, W.: Ergometrische Empfehlungen für die ärztliche Praxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 38 (1987) 6, 244- 268.
- KLEMM, O.: Zwölf Leitsätze zu einer Psychologie der Leibesübungen. In: KRÜGER, F./KLEMM, O. (HRSG.): *Motorik. Neue Psychologische Studien*, Bd. 9, Heft 4. München: Beck 1938, 383-398.
- KOS, H./STAROSTA, W.: Der Einfluß der körperlichen Belastung auf die Kraftdifferenzierungsfähigkeit (die Kraftgenauigkeit) mit der rechten und der linken Hand bei trainierenden Schwimmern. In: HIRTZ, P./NÜSKE, F. (HRSG.): *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft*, Bd. 87. Hamburg: Czwalina 1997, 270-274.
- KOZAR, B./VAUGHN, R.E./LORD, R.H./WHITFIELD, K.E.: Basketball free-throw performance: practice implications. *Journal of Sport Behavior* 18 (1995) 2, 123-129.
- KRATZER, H.: Psychische Belastung und Belastungswirkungen im Sport. In: KRATZER, H./MATHESIU, R. (HRSG.): *Beiträge zur psychischen Regulation sportlicher Handlungen. Betrifft: Psychologie & Sport*, Bd. 25. Köln: bps 1991, 45-51.
- KRECHEVSKY, I.: Brain mechanisms and variability. II. Variability where no learning is involved. *Journal of comparative Psychology* 23 (1936), 121-138.
- KUDO, K./TSUTSUI, S./ISHIKURA, T./ITO, T./YAMAMOTO, Y.: Compensatory coordination of release parameters in a throwing task. *Journal of Motor Behavior* 32 (2000) 4, 337-345.
- KÜNZELL, S.: *Motorik und Konnektionismus. Neuronale Netzwerke als Modell interner Bewegungsrepräsentation*. Köln: bps 1996.
- LEE, D.N./LISHMAN, J.R./THOMSON, J.A.: Regulation of gait in long jumping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 8 (1982) 3, 448-459.

- LEINENBACH, H.: Zur übungsabhängigen Veränderung kinematischer Stabilitätskenngrößen bei trefferorientierten Wurfbewegungen. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1998.
- LETZELTER, H.: Technik. In: EBERSPÄCHER, H. (HRSG.): Handlexikon Sportwissenschaft. Reinbek: Rowohlt 1992, 472-476.
- LETZELTER, M.: Trainingsgrundlagen. Reinbek: Rowohlt 1987.
- LILLIEFORS, H.W.: On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. American statistical association 62 (1967), 399-402.
- LOHR, W.: Experimentelle Untersuchungen zur Psychomotorik des Zielwurfs. Unveröffentlichte Dissertation. Philosophische Fakultät, Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen. Tübingen 1960.
- LOOSCH, E.: Funktionelle Variabilität im Dartwurf. Sportwissenschaft 25 (1995) 4, 417-425.
- LOOSCH, E.: Variabilität – Phänomen und Prinzip menschlicher Bewegung. Sportwissenschaft 27 (1997) 3, 294-309.
- LOOSCH, E.: Allgemeine Bewegungslehre. Wiebelsheim: Limpert 1999.
- LUDERER, H.-J./PILLUNAT, L.E./CHRIST, T./STODTMEISTER, R.: Hirnfunktion bei Alkoholabhängigen: Korrelation von Flimmerfusionsfrequenz und psychopathologischem Befund. Fortschritte der Medizin 104 (1986) 5, 101-104.
- MAGILL, R.A.: Motor learning, concepts and applications. Iowa: Brown 1989.
- MAGILL, R.A.: Augmented feedback In skill acquisition. In: SINGER, R.N./MURPHEY, M./TENNANT, K. (EDS.): Handbook of research on sport psychology. New York: Macmillan 1993, 193-212.
- MANZER, C.W.: The effect of fatigue upon variability of putput in muscular work. Journal of Experimental Psychology 17 (1934), 257-269.
- MARAJ, B./ALLARD, F./ELLIOTT, D.: The effect of nonregulatory stimuli on the triple jump approach run. Research Quarterly 69 (1998) 2, 129-135.
- MARAJ, B.K.V./ELLIOTT, D./LEE, T.D./POLLOCK, B.J.: Variance and invariance in expert and novice triple jumpers. Research Quarterly 64 (1993) 4, 404-412.
- MARÉES, H. DE/MESTER, J.: Sportphysiologie 2. Frankfurt a.M.: Diesterweg 1990.
- MAREES, H. DE/MESTER, J.: Sportphysiologie 1. Frankfurt a.M.: Diesterweg 1991(a).
- MAREES, H. DE/MESTER, J.: Sportphysiologie 3. Frankfurt a.M.: Diesterweg 1991(b).
- MARTIN, D./CARL, K./LEHNERTZ, K.: Handbuch Trainingslehre. Schorndorf: Hofmann 1993.

- MATWEJEW, L.P.: Grundlagen des sportlichen Trainings. Berlin: Sportverlag 1981.
- MCCULLAGH, P.: Modeling: Learning, developmental, and social psychological considerations. In: SINGER, R.N./MURPHEY, M./TENNANT, L.K. (EDS.): Handbook of research on sport psychology. New York: Macmillan 1993, 106-126.
- MCDONALD, P.V./VAN EMMERIK, R.E.A./NEWELL, K.M.: The effects of practice on limb kinematics in a throwing task. Journal of Motor Behavior 21 (1989) 3, 245-264.
- MECHLING, H.: Bewegungspräzision. In: RÖTHIG, P. u.a. (HRSG.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 85.
- MEIJER, O.G./ROTH, K. (EDS.): Complex Movement Behavior: The Motor - Action Controversy. Amsterdam: Elsevier 1988.
- MELLEROWICZ, H.: Egometrie: Grundriß der medizinischen Leistungsmessung. München u.a.: Urban und Schwarzenberg 1979.
- MENDOZA, D./WICHMANN, H.: "Inner"darts: effects of mental practice on performance of dart throwing. Perceptual and Motor Skills 47 (1978), 1195-1199.
- MESTER, J.: Aspekte neuromuskulärer Beanspruchung durch Trainingsbelastung. In: BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT (HRSG.): Steuerung und Regelung des Trainings. Köln: Strauß 1988, 22-34.
- MEYER, D.E./SMITH, J.E.K./WRIGHT, C.E.: Models for the speed and accuracy of aimed movements. Psychological Review 89 (1982) 5, 449-482.
- MEYER, D.E./ABRAMS, R.A./KORNBLUM, S./WRIGHT, C.E./SMITH, J.E.K.: Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. Psychological Review 95 (1988) 3, 340-370.
- MOXLEY, S.E.: Schema: the variability of practice hypothesis. Journal of Motor Behavior 11 (1979) 1, 65-70.
- MÜLLER, C.: Prinzipien zur Ausbildung von Leistungsvoraussetzungen – dargestellt am Beispiel der Prinzipien des technisch-koordinativen Trainings. Theorie und Praxis der Körperkultur 37 (1988) 3, 171-177.
- MÜLLER, H.: Die Trefferleistung bei Wurfbewegungen - Zur Operationalisierung der leistungsrelevanten Faktoren. In: HIRTZ, P./NÜSKE, F. (HRSG.): Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 87. Hamburg: Czwalina 1997(a), 288-292.
- MÜLLER, H.: Anlage zum Forschungsantrag „Ausführungsvariabilität“. Unveröffentlichtes Manuskript. Sportwissenschaftliches Institut der Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1997(b).

- MÜLLER, H.: Zur Abhängigkeit des "Root Mean Square"-Distanzmaßes von der Größe des Auswertungsfensters bei der Bestimmung der Annäherung an eine "äquifinale" Bewegungsbahn. E-Journal der Sektion Sportmotorik der dvs. <http://www.uni-saarland.de/fak5/swi/dvs/beiträge/distanzmaß/distanzmaß.htm>, i.d.F.v. 10.02.1999(a).
- MÜLLER, H.: Variabilität und Plastizität. Hauptreferat auf der 2. Tagung für interdisziplinäre Bewegungsforschung vom 06. – 08. 05.1999 in Saarbrücken. Saarbrücken 1999(b).
- MÜLLER, H.: Ein Monte Carlo-Verfahren zur Bestimmung der Kovariation bei multiplen nicht-linearen Zusammenhängen. In: WIEMEYER, J. (HRSG.): Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 105. Hamburg: Czwalina 1999(c), 72-76.
- MÜLLER, H.: Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz. Unveröffentlichte Habilitationsschrift. Philosophische Fakultät III, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 2000.
- MÜLLER, H./LOOSCH, E.: Functional variability and an equifinal path of movement during targeted throwing. In: Journal of Human Movement Studies (36) 1999, 103-126.
- MÜLLER, H./REISER, M.: Methodische Überlegungen zur Quantifizierung von „funktioneller Variabilität“. E-Journal der Sektion Sportmotorik der dvs. <http://www.uni-saarland.de/fak5/swi/dvs/beiträge/ausführungsvariabilität/ausführungsvariabilität.htm>, i.F.v. 10.02.1999.
- MÜLLER, H./REISER, M./DAUGS, R.: Performance strategies for achieving high result consistencies in aimed throwing tasks. In: BLASER, P. (ED.): Sport Kinetics '97. Hamburg: Czwalina 1998, 105-109.
- MÜLLER, H./REISER, M./DAUGS, R.: Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz bei trefferorientierten Wurfbewegungen. E-Journal der Sektion Sportmotorik der dvs. <http://www.uni-saarland.de/fak5/swi/dvs/beiträge/wurfbewegung/wurfbewegung.htm>, i.F.v. 10.02.1999.
- MÜLLER, W./STEINHÖFER, D.: Zur Abhängigkeit von motorischer und technomotorischer Belastung im Sportspiel Basketball. Leistungssport 12 (1982) 5, 384-392.
- NEUMAIER, A.: Trainingswissenschaftlicher Ansatz zum Techniktraining. In: NITSCH, J.R./NEUMAIER, A./MARÉES, H. DE/MESTER, J. (HRSG.): Techniktraining: Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 94. Schorndorf: Hofmann 1997, 173-225.
- NEUMAIER, A./DE MARÉES, H./SEILER, R.: Stand und Probleme des Techniktrainings – Trainerbefragung und Literaturanalyse. In: NITSCH, J.R./NEUMAIER, A./MARÉES, H. DE/MESTER, J. (HRSG.): Techniktraining: Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 94. Schorndorf: Hofmann 1997, 13-36.

- NEWELL, K.M./CARLTON, L.G.: On the relationship between peak force and peak force variability in isometric tasks. *Journal of Motor Behavior* 17 (1985) 2, 230-241.
- NEWELL, K.M./CARLTON, L.G.: Force variability in isometric responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 14 (1988) 1, 37-44.
- NEWELL, K.M./CARLTON, L.G./CARLTON, M.J.: The relationship of impulse to response timing error. *Journal of Motor Behavior* 14 (1982) 1, 24-25.
- NEWELL, K.M./CARLTON, L.G./HANCOCK, P.A.: Kinetic analysis of response variability. *Psychological Bulletin* 96 (1984) 1, 133-151
- NEWELL, K.M./CORCOS, D.M.: Issues in variability and motor control. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (EDS.): *Variability and motor control*. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993(a), 1-12.
- NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (EDS.): *Variability and motor control*. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993(b).
- NEWELL, K.M./HOSHIZAKI, L.E.F./CARLTON, M.J.: Movement time and velocity as determinants of movement timing accuracy. *Journal of Motor Behavior* 11 (1979) 1, 49-58.
- NEWELL, K.M./SLIFKIN, A.B.: The nature of movement variability. In: PIEK, J.P. (ED.): *Motor behavior and human skill*. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1998, 143-160.
- NEWELL, K.M./VAN EMMERIK, R.E.A./SPRAGUE, R.L.: Stereotypy and variability. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (EDS.): *Variability and motor control*. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993, 475-496.
- NITSCH, J.: *Theorie und Skalierung der Ermüdung*. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln: Köln 1970.
- NITSCH, J.R./MUNZERT, J.: Theoretische Probleme der Bewegungsorganisation. In: NITSCH, J.R./NEUMAIER, A./MARÉES, H. DE/MESTER, J. (HRSG.): *Techniktraining: Beiträge zu einem interdisziplinären Ansatz*. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 94. Schorndorf: Hofmann 1997, 50-71.
- OLIVIER, N.: Techniktraining und konditionelle Belastungen - Teil I. *Sportpsychologie* 5 (1991) 2, 21-26.
- OLIVIER, N.: Grundlagen eines Drei-Faktoren-Modells zum Einfluß konditioneller Belastungen auf die Aneignungsleistung bei (sport-)motorischen Lernprozessen. In: HIRTZ, P./NÜSKE, F. (HRSG.): *Motorische Entwicklung in der Diskussion*. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 60. St. Augustin: Academia 1994, 245-251.
- OLIVIER, N.: Techniktraining unter konditioneller Belastung: zum Einfluß konditioneller Belastungen auf das sportmotorische Lernen und Techniktraining. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 83. Schorndorf: Hofmann 1996(a).

- OLIVIER, N.: Konditionelle Belastungen beeinflussen das Schnellkraftniveau lokal!. In: STARISCHKA, S./CARL, K./KRUG, J. (HRSG.): Schwerpunktthema Nachwuchstraining. Erlensee: SFT 1996(b), 153-158.
- OLIVIER, N.: Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfes“ Unveröffentlichtes Manuskript. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1996(c).
- OLIVIER, N.: Sportliche Bewegung unter konditioneller Belastung. In: HIRTZ, P./NÜSKE, F. (HRSG.): Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 87. Hamburg: Czwalina 1997, 255-264.
- OLIVIER, N./AUGSTE, C./KEIM, M./KLIPPEL, S.: Techniktraining unter dem Einfluß hoher konditioneller Belastungen. In: Berichtsband zur Jahrestagung der dvs-Sektion Trainingswissenschaft "Training und Ermüdung: Mechanismen und Auswirkungen auf das Kraft-Technik-Training" vom 25./26. Juni 1999 in Jena, i.V.
- OLIVIER, N./BÜSCH, D./DAUGS, R.: Felduntersuchungen zur Veränderung der Flimmerverschmelzungsfrequenz und der Ausführungsqualität von Bewegungstechniken im Training von Ringern und Leichtathleten. In: OLIVIER, N./BÜSCH, D./DAUGS, R. (HRSG.): Untersuchungen zur Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sport. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 91, 4. Köln: Strauss 1991, 122-140.
- OLIVIER, N./DILLINGER, M.-O.: Schadet Techniktraining unter Ermüdung? Teil 2. Die Lehre der Leichtathletik 36 (1997) 14, 29-30.
- OLIVIER, N./WIEMEYER, J./BÜSCH, D.: Zur Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz (FVF) im Sport – Das Messverfahren RZA (rechnergestützte, räumlich zeitliche Auswahlmethode) In: SINGER, R. (HRSG.): Sportpsychologische Forschungsmethodik: Grundlagen, Probleme, Ansätze. Betrifft: Psychologie und Sport, Bd. 24. Köln: bps 1991.
- OLIVIER, N./WIEMEYER, J./DAUGS, R./ZIPF, K.E./BÜSCH, D.: Zur Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sport. Leistungssport 19 (1989) 4, 32-38.
- OSTMANN, A./WUTKE, J.: Statistische Entscheidung. In: HERMANN, T./TACK, W. (HRSG.): Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich B Methodologie und Methoden, Serie I Forschungsmethoden der Psychologie, Band 1 Methodologische Grundlagen der Psychologie. Göttingen u.a.: Hogrefe 1994, 694-737.
- PENROSE, T./BLANKSBY, B.: Film analysis: Two methods of basketball jump shooting techniques by two groups of different ability level. Australian Journal for Health, Physical Education and Recreation 68 (1976) 3, 14-22.
- PIGOTT, R.E./SHAPIRO, D.C.: Motor schema: The structure of the variability session. Research Quarterly for Exercise and Sport 55 (1984) 1, 41-45.

- PÖHLMANN, R.: Motorisches Lernen. Reinbek: Rowohlt 1994.
- POLLMANN, D.: Muskuläre Beanspruchung im Mikrozyklus des Krafttrainings: eine elektromyografische Analyse dynamischer und isometrischer Krafttrainingsformen. Köln: Strauß 1993.
- POPPER, K.R.: Logik der Forschung. Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften, Bd. 4. Tübingen: Mohr 1994.
- REISER, M.: Zur Ergebniskonstanz von Bewegungstechniken beim Zielwurf. Philosophische Fakultäten, Universität des Saarlandes. Saarbrücken i.V.
- REISER, M./MÜLLER, H.: Zur Quantifizierung von Äquifinalität bei Zielwurfbewegungen. In: WIEMEYER, J. (HRSG.): Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 105. Hamburg: Czwalina 1999, 206-211.
- REISER, M./MÜLLER, H./DAUGS, R.: Ausführungsvariabilität und Ergebniskonstanz bei Wurfbewegungen. In: LOOSCH, E./TAMME, M. (HRSG.): Motorik - Struktur und Funktion. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 79. Hamburg: Czwalina 1997(a), 92-96.
- REISER, M./MÜLLER, H./DAUGS, R.: Zur Trefferleistung bei Zielwürfen - Faktoren und Anforderungen einer ergebniskonstanten Bewegungstechnik. In: HOSSNER, E.-J./ROTH, K. (HRSG.): Sport-Spiel-Forschung – Zwischen Trainerbank und Lehrstuhl. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 84. Hamburg: Czwalina 1997(b), 63-65.
- REISER, M./MÜLLER, H./WEILER, T./DAUGS, R.: Zum Einfluß unterschiedlicher Wurftrainingsformen auf die Faktoren der Trefferleistung beim Basketball. In: RIECKEN, R. (HRSG.): Praxisorientierte Bewegungslehre als angewandte Sportmotorik. Sport und Wissenwschaft, Bd. 8. Sankt Augustin: Academia 1999, 241-246.
- RICHARDS, D.K.: A two-factor theory of the warm-up effect in jumping performance. Research Quarterly 39 (1968) 3, 668-673.
- ROHMERT, W.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38 (1984) 4, 193-200.
- ROTH, K.: Taktik im Sportspiel: zum Erklärungswert der Theorie generalisierter motorischer Programme für die Regulation komplexer Bewegungshandlungen. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 69. Schorndorf: Hofmann 1989.
- RUDOLPH, E.: FVF-Messungen im Training und Wettkampf bei Handballspielern. In: OLIVIER, N./BÜSCH, D./DAUGS, R. (HRSG.): Untersuchungen zur Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sport. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 91, 4. Köln: Strauss 1991, 17-29.

- RÜEGG, J.C.: Muskel. In: SCHMIDT, R.F./THEWS, G.: Physiologie des Menschen. Berlin u.a.: Springer 1995, 67-87.
- SAHLIN, K.: Muscle fatigue and lactic acid accumulation. Acta Physiologica Scandinavica Supplement 556 (1986), 83-91.
- SAHRE, E.: Zum Einfluß physischer Beanspruchung und psychischer Belastung auf die Korbwurfleistung im Basketball unter Berücksichtigung der Fähigkeit zur Handlungskontrolle. In: OLIVIER, N./DAUGS, R. (HRSG.): Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. Clausthal-Zellerfeld: dvs 1991, 114-120.
- SARRIS, V.: Methodologische Grundlagen der Experimentalpsychologie 2: Versuchsplanung und Studien. München u.a.: Reinhardt 1992.
- SALMONI, A.W./SCHMIDT, R.A./WALTER, C.B.: Knowledge of Results and motor learning: a review and critical reappraisal. Psychological Bulletin 95 (1984) 3, 355-386.
- SALTIN, B./ESSEN, B.: Muscle glycogen, lactate, ATP, and CP in intermittent exercise. In: PERNOW, B./SALTIN, B.(EDS.): Muscle metabolism during exercise. New York 1971, 419-424.
- SAß, H.: Zur Problematik der Wiederholungszahlen in der Technikschiulung. In: OLIVIER, N./DAUGS, R. (HRSG.): Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. Clausthal-Zellerfeld: dvs 1991, 121-125.
- SAß, H.: Sportliche Belastung in der Verbindung von konditioneller und sporttechnischer Ausbildung am Beispiel von Sportspielen. In: HIRTZ, P./NÜSKE, F. (HRSG.): Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 87. Hamburg: Czwalina 1997, 275-278.
- SCHARSCHMIDT, F.: Ermüdung und Erholung. In: FINDEISEN, D.G.R./LINKE, P.-G./PICKENHAIN, L. (HRSG.): Grundlagen der Sportmedizin. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1980, 236-251.
- SCHERLER, K.: Sensomotorische Entwicklung und materiale Erfahrung. Schornforf: Hofmann 1975.
- SCHMIDT, R.A.: Performance and learning a gross motor skill under conditions of artificially-induced fatigue. Research Quarterly 40 (1969) 1, 185-190.
- SCHMIDT, R.A.: A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review 82 (1975) 4, 225-260.
- SCHMIDT, R.A.: Motor control and learning: a behavioral emphasis. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1988.
- SCHMIDT, R.A.: Motor learning and performance. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1991.
- SCHMIDT, R.A./LEE, T.D.: Motor control and learning: a behavioral emphasis. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1999.

- SCHMIDT, R.A./SHERWOOD, D.E.: An inverted-U relation between spatial error and force requirements in rapid limb movements: further evidence for the impulse-variability model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 8 (1982) 1, 158-170.
- SCHMIDT, R.A./WRISBERG, C.A.: *Motor learning and performance*. Champaign (Ill.): Human Kinetics 2000.
- SCHMIDT, R.A./ZELAZNIK, H./HAWKINS, B./FRANK, J.S./QUINN, J.T.: Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review* 86 (1979) 5, 415-451.
- SCHMIDTKE, H.: *Die Ermüdung*. Bern/Stuttgart: Huber 1965.
- SCHNABEL, G.: Grundlagen und Methodik der sporttechnischen Ausbildung. In: HARRE, D. (Gesamtred.): *Trainingslehre: Einführung in die Theorie und Methodik des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag 1986, 194-218.
- SCHNABEL, G.: Allgemeine Bewegungsmerkmale als Ausdruck der Bewegungskoordination. In: MEINEL, K./SCHNABEL, G. (RED.): *Bewegungslehre - Sportmotorik*. Berlin. Volk und Wissen 1987(a), 90-171.
- SCHNABEL, G.: Motorisches Lernen im Sport. In: MEINEL, K./SCHNABEL, G. (RED.): *Bewegungslehre - Sportmotorik*. Berlin. Volk und Wissen 1987(b), 172-241.
- SCHNABEL, G.: Sportliche Technik - sporttechnische Fertigkeiten: In: SCHNABEL, G./HARRE, D./BORDE, A. (HRSG.): *Trainingswissenschaft*. Berlin: Sportverlag 1994, 121-136.
- SCHÖNPFLUG, W.: Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit. In: KLEINBECK, U./RUTENFRANZ, J. (HRSG.): *Arbeitspsychologie*. Göttingen: Hogrefe 1987, 130-184.
- SCHÖNPFLUG, W.: Von der Aktivierungstheorie zur Ressourcentheorie. Die Regulation von Aktivierungszuständen. In: JANSSEN, J.-P./HAHN, E./STRANG, H. (HRSG.): *Konzentration und Leistung*. Göttingen: Hogrefe 1991, 27-36.
- SHEA, C.H./SHEBILSKE, W.L./KOHL, R.M./GUADAGNOLI, M.A.: After-contraction phenomenon: influences on performance and learning. *Journal of Motor Behavior* 23 (1991) 1, 51-62.
- SHERWOOD, D.E.: Impulse characteristics in rapid movement: implications for impulse-variability models. *Journal of Motor Behavior* 18 (1986) 2, 188-214.
- SHERWOOD, D.E.: Effect of bandwidth knowledge of results on movement consistency. *Perceptual and Motor Skills* 66 (1988), 535-542.
- SHERWOOD, D.E./SCHMIDT, R.A.: The relationship between force and force variability in minimal and near-maximal static and dynamic contractions. *Journal of Motor Behavior* 12 (1980) 1, 75-89.
- SHOENFELT, E.L.: Immediate effects of weight training as compared to aerobic exercise on free-throw shooting in collegiate basketball players. *Perceptual and Motor Skills* 73 (1991), 367-370.

- SINGER, R.N.: Motorisches Lernen und menschliche Leistung. Bad Homburg: Limpert 1985.
- SMEETS, J.B.J./ERKELENS, C.J./DERNIER VAN DER GON, J.J.: Perturbations of fast goal-directed arm-movements: Different behavior of early and late EMG response. Journal of Motor Behavior 27 (1995) 4, 333-348.
- SPRAY, J.A.: Absolute error revisited: An accuracy indicator in disguise. Journal of Motor Behavior 18 (1986) 2, 225-238.
- STEHLE, P.: Ermüdung. In RÖTHIG, P./BECKER, H./CARL, K./KAYSER, D./PROHL, R. (HRSG.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 49/50. Schorndorf: Hofmann 1992, 151.
- STEINHÖFER, D./GERLACH, D./REMMERT, H.: Ein Vergleich US-amerikanischer (NBA) und deutscher Spitzenbasketball-Teams (1. Bundesliga). Leistungssport 27 (1997) 6, 56-60.
- STELMACH, G.E./DIGGLES, V.A.: Control theories in motor behavior. Acta Psychologica 50 (1982), 83-105.
- STIMPEL, E.: Der Wurf. In: KRÜGER, F./KLEMM, O. (HRSG.): Motorik. Neue Psychologische Studien, Bd. 9, Heft. 2. München: Beck 1933, 105-138.
- SUST, M.: Bemerkungen zum Lernprozeß von (Ziel-)Bewegungen. In: LOOSCH, E./TAMME, M. (HRSG.): Motorik - Struktur und Funktion. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 79. Hamburg: Czwalina 1997, 175-180.
- SWINNEN, S.P.: Information feedback for motor skill learning: A review. In: ZELAZNIK, H.N. (ED.): Advances in motor learning and control. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1996, 37-66.
- TEMME, W./SAHRE, E.: Welcher Zusammenhang besteht zwischen konditioneller Belastung und motorischem Lernen? In: BIELEFELDER SPORTPÄDAGOGEN (HRSG.): Methoden im Sportunterricht. Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 96. Schorndorf: Hofmann 1998, 119-132.
- THEWS, G./MUTSCHLER, E./VAUPEL, P.: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1991.
- THOMAS, J.R./COTTEN, D.J./SPIETH, W.R./ABRAHAM, N.L.: Effects of fatigue on stabilometer performance and learning of males and females. Medicine and Science in Sports 7 (1975) 3, 203-206.
- TIMMANN, D./WATTS, S./HORE, J.: Failure of cerebellar patients to time finger opening precisely causes ball high-low inaccuracy in overarm throws. Journal of Neurophysiology 82 (1999) 1, 103-114.
- ULMER, H.-V.: Arbeits- und Sportphysiologie. In: SCHMIDT, R.F./THEWS, G.: Physiologie des Menschen. Berlin u.a.: Springer 1995, 672-696.
- ULRICH, R./WING, A.M.: Variability of brief force impulses. In: NEWELL, K.M./CORCOS, D.M. (EDS.): Variability and motor control. Champaign (Ill.): Human Kinetics 1993, 37-52.

- VAN DIEËN, J.H./VAN DER BURG, P./RAAIJMAKERS, T.A.J./TOUSSAINT, H.M.: Effects of repetitive lifting on kinematics: inadequate anticipatory control or adaptive changes? *Journal of Motor Behavior* 30 (1998) 1, 20-32.
- VAN GALEN, G.P./PORTIER, S.J./SMITS-ENGELSMAN, B.C.M./SCHOMAKER, L.R.B.: Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychologica* 82 (1993) 161-178.
- VAN GALEN, G.P./VAN HUYGENVOORT, M.: Error, stress and the role of neuromotor noise in space oriented behaviour. *Biological Psychology* 51 (2000) 2-3, 151-171.
- VANDENBORNE, K./MCCULLY, K./KAKIHARA, H./PRAMMER, M./BOLINGER, L./DETRE, J.A./DE MEIRLEIR, K./WALTER, G./CHANCE, B./LEIGH, J.S.: Metabolic heterogeneity in human calf muscle during maximal exercise. *Procl. Natl. Acad. Sci. USA* 88 (1991) (Vorabdruck).
- VIITASALO, J.T./KOMI, P.V.: EMG, reflex and reaction time components, muscle structure, and fatigue during intermittent isometric contractions in man. *International Journal of Sports Medicine* (1980) 1, 185-190.
- VIRU, A./PAEAESUKE, M.: An approach to the fatigue problem – a review. *Biology of Sport* 8 (1991) 3, 107-120.
- VOIGT, E.: Über den Aufbau von Bewegungsgestalten. In: KRÜGER, F./KLEMM, O. (HRSG.): *Motorik. Neue Psychologische Studien*, Bd. 9, Heft 1. München: Beck 1933, 5-32.
- VORRO, J.R.: Stroboscopic study of motion changes that accompany modifications and improvements in a throwing performance. *Research Quarterly* 44 (1973) 2, 216-226.
- WEILER, T.: Zum Einfluß eines basketballspezifischen Wurftrainings mit unterschiedlichen konditionellen Belastungen und Wurf Frequenzen auf Faktoren der Trefferleistung beim Freiwurf. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes. Saarbrücken 1998.
- WEINECK, J.: *Sportbiologie. Beiträge zur Sportmedizin*, Bd. 27. Erlangen: Perimed 1990.
- WEINECK, J.: *Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Balingen: PERIMED-spitta 1994.
- WEINLAND, J.D.: Variability of performance in the curve of work. *Archives of Psychology* 87 (1927), 1-68.
- WEIZSÄCKER, V. VON: *Der Gestaltkreis. Theorie der Einheit von Wahrnehmen und Bewegen*. Stuttgart: Thieme 1940.
- WESSELS, M.G.: *Kognitive Psychologie*. München u.a.: Reinhardt 1994.
- WESTERMANN, R./HAGER, W.: Zur Verwendung von Effektgrößen in der theorie-orientierten Sozialforschung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie* 15 (1984), 159-166.

- WHITLEY, J.D.: Effects of maximizing inertial resistance on performing and learning a motor task. *Research Quarterly* 46 (1975) 1, 110-119.
- WIEMEYER, J.: Zentralnervöse Aktivierung und sportliche Leistung. Köln: Strauß 1990.
- WIEMEYER, J.: Motorische Kontrolle und motorisches Lernen im Sport. *Sportpsychologie* 6 (1992) 2, 5-12.
- WIEMEYER, J.: Flimmerverschmelzungsfrequenz und allgemeines zentralnervöses Aktivierungsniveau. In: BARTMUS, U./HECK, H./MESTER, J./SCHUMANN, H./TIDOW, G. (HRSG.): *Aspekte der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport*. Köln: Strauss 1996, 163-171.
- WIEMEYER, J./BÜSCH, D.: Zum aktuellen Forschungs- und Diskussionsstand der FVF-Messung in der Sportwissenschaft. *Leistungssport* 22 (1992) 4, 37-42.
- WIEMEYER, J./FROMME, J./ZIPF, K.E.: FVF-Messungen zur Diagnose zentralnervöser Effekte muskulärer Belastung – praktische Erfahrungen und Ergebnisse. In: OLIVIER, N./BÜSCH, D./DAUGS, R. (HRSG.): *Untersuchungen zur Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sport. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 91, 4*. Köln: Strauss 1991, 141-160.
- WIEMEYER, J./JÄGER, K./FROMME, A./ZIPF, K.E.: Der Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung im Fußball und Tennis. In: DAUGS, R./MECHLING, H./BLISCHKE, K./OLIVIER, N. (HRSG.): *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining. Bd. 2. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 77*. Schorndorf: Hofmann 1991, 213-217.
- WIEMEYER, J./OLIVIER, N.: Zur Bestimmung ausgewählter Parameter von FVF-Messungen im Sport. In: BERNETT, P./JESCHKE, D. (HRSG.): *Sport und Medizin Pro und Contra*. München: Zuckschwerdt 1991, 691-693.
- WIEMEYER, J./OLIVIER, N./BÜSCH, D.: Zur Festlegung von physikalischen und verfahrensspezifischen Parametern von FVF Messungen im Sport. In: SINGER, R. (HRSG.): *Sportpsychologische Forschungsmethodik: Grundlagen, Probleme, Ansätze. Betrifft: Psychologie und Sport, Bd. 24*. Köln: bps 1991, 173-178.
- WIEMEYER, J./ZIPF, K.E.: Zur FVF-Messung in der Sportwissenschaft. In: OLIVIER, N./BÜSCH, D./DAUGS, R. (HRSG.): *Zur Messung der Flimmerverschmelzungsfrequenz im Sport: Beiträge verschiedener Wissenschaftsdisziplinen zur Methodik der FVF-Messung. Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 90, 2*. Köln: Strauss 1990, 119-140.
- WIESENDANGER, M.: Motorische Systeme. In: SCHMIDT, R.F./THEWS, G.: *Physiologie des Menschen*. Berlin u.a.: Springer 1995, 91-127.
- WILLIMCZIK, K./DAUGS, R./OLIVIER, N.: Belastung und Beanspruchung als Einflußgrößen der Sportmotorik. In: OLIVIER, N./DAUGS, R. (HRSG.): *Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung*. Clausthal-Zellerfeld: dvs 1991, 6-28.

- WILLINGHAM, D.B.: A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychological Review* 105 (1998) 3, 558-584.
- WOODWORTH, R.S.: The accuracy of voluntary movements. *Psychological Review Monographs* 3 (1899) 3, 1-114.
- WULF, G.: Bedingungsfaktoren der motorischen Schema-Bildung. *Sportwissenschaft* 18 (1988) 1, 40-50.
- YERKES, R.M./DODSON, J.D.: The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *Journal of comparative neurology and psychology* 18 (1908), 459-482.

Fragebogen zur Erfassung personenspezifischer Variablen

Name:

VpNr.:

Datum:

Versuch:

Bitte zutreffendes ankreuzen oder beantworten!

1. Wie alt bist Du? _____Jahre
2. Bist Du männlich?
weiblich?
3. Wieviele Stunden in der Woche treibst Du aktiv Sport? (1 Stunde = 45 min.)
 ≤ 4
5-8
9-12
> 12
4. Betreibst Du eine Sportart, in der eine Wurfbewegung integraler Bestandteil ist (z.B. Handball, Basketball, Dartwurf)?
Ja welche? _____
Nein (dann weiter mit 6)
5. Wenn ja, seit welchem Zeitraum übst Du sie aus?
< ½ Jahr
1 Jahr
2-3 Jahre
mehr als 3 Jahre und zwar _____ Jahre
6. Spielst Du bisweilen Dart (z.B. in Kneipen)?
Ja
Nein (weiter mit Frage 8)
7. Wenn ja, wie oft spielst Du?
Mehrmals die Woche
Einmal die Woche

Einmal im Monat

seltener

8. Betreibst Du eine (weitere) Sportart, in der Deine Armmuskulatur beansprucht wird (z.B. Rudern, Tennis)?

Ja welche? _____

Nein (weiter mit Frage 10)

9. Wenn ja, wie oft in der Woche trainierst Du in dieser Sportart?

1 mal

2-3 mal

4-6 mal

mehr als 6 mal

10. Betreibst Du eine Ausdauersportart?

Ja welche? _____

Nein (weiter mit Frage 12)

11. Wenn ja, wie oft in der Woche trainierst Du in dieser Ausdauersportart?

1 mal

2-3 mal

4-6 mal

mehr als 6 mal

12. Betreibst Du noch andere Sportarten?

Nein

Ja und zwar _____, _____ Stunden in der Woche
und _____, _____ Stunden in der Woche

Fragebogen zur Erfassung vorhergehender Beanspruchungen

Name:

VpNr.:

Datum:

Versuch:

Bitte zutreffendes ankreuzen oder beantworten!

Wann hast Du zuletzt Sport betrieben (Mehrfachnennungen möglich)?

1. Heute Sportart _____

Wie beurteilst Du die Intensität dieser Beanspruchung?

sehr intensiv

gering

Wurde dabei Deine Armmuskulatur beansprucht?

ja

nein

Wenn ja, wie beurteilst Du die Intensität dieser Beanspruchung

sehr intensiv

gering

2. Gestern Sportart _____

Wie beurteilst Du die Intensität dieser Beanspruchung?

sehr intensiv

gering

Wurde dabei Deine Armmuskulatur beansprucht?

ja

nein

Wenn ja, wie beurteilst Du die Intensität dieser Beanspruchung

sehr intensiv

gering

3. Davor Sportart _____

Wie beurteilst Du die Intensität dieser Beanspruchung?

sehr intensiv

gering

Wurde dabei Deine Armmuskulatur beansprucht?

ja

nein

Wenn ja, wie beurteilst Du die Intensität dieser Beanspruchung

sehr intensiv

gering